This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Technische Hochschule Wien
Lehrkanzel für Eisenbahnbau
und Spezialbahnen
Inv. Nr. B. 68
Sam. Nr. 9
Ausgeschieden
UBTU Wien

Harvard College
Library

VE RI TAS

FROM THE BEQUEST OF

SUSAN GREENE DEXTER

Technische Hochschule V
Lehrkanzel für Eisenbahnobe
und Spezialbahnen
Ausgeschieden
UBTU Wien

Theorie des Trafsirens

von

Wilhelm Launhardt,
Geheimer Regierungsrath,
Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover.

Heft I.

Die kommerzielle Trafsirung.

Zweite Auflage. Mit 19 Holzschnitten.

Hannover.
Schmorl & von Seefeld.
1887.

WID-LC
TF
153
.L38
1887x

VARD UNIVERSI
LIBRARY
OCT 1 ' 2004

Druck von August Grimpe in Hannover.

Vorwort.

Die „Theorie des Trafsirens“ zerfällt in drei Theile, von welchen der erste die kommerzielle Trafsirung umfafst, der zweite die technische Trafsirung der Eisenbahnen und der dritte die technische Trafsirung der Strafsen behandeln wird.

Das vorliegende Heft enthält die kommerzielle Trafsirung, welche in erster Auflage im Jahre 1872 als Sonderabdruck einer Abhandlung erschien, die in der Zeitschrift des hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins in demselben Jahre veröffentlicht wurde.

Die von mir damals gegebene Begriffsfeststellung hat unter der dafür gewählten Bezeichnung „Kommerzielle Trafse“ eine rasche Verbreitung gefunden, so dafs ich es nicht für räthlich halte, diesen Namen zu verändern, obwohl er mir nicht mehr recht gefällt.

Die wirthschaftliche Auffassung technischer Aufgaben, welche mehr oder minder klar und zielbewufst von jeher für die praktische Durchführung mafsgebend war, hat eine wissenschaftliche Durchbildung erst in neuerer Zeit für einzelne Zweige gefunden. Die dadurch gewonnene Erweiterung der Auffassung wird auf allen Gebieten des Ingenieurwesens immer mehr zur Geltung gelangen.

Den Rahmen meiner ersten Arbeit über kommerzielle Trafsirung habe ich später in Vorträgen an der Technischen Hochschule zu Hannover sowie durch andere Veröffentlichungen erweitert, von denen ich namentlich eine Abhandlung anführe, welche unter dem Titel „Wirthschaftliche Fragen des Eisenbahnwesens“ im Jahrgange 1883 des

Centralblatts der Bau-Verwaltung erschien, und den Abschnitt über Güterversendung in meiner „Mathematischen Begründung der Volkswirthschaftslehre“. (Leipzig 1885 bei Wilhelm Engelmann.) Der Inhalt dieser zweiten Auflage ist demnach wesentlich vermehrt, wenngleich ich bemüht war, durch Kürze der Darstellung den räumlichen Umfang in engen Grenzen zu halten.

Hannover, September 1886.

Wilh. Launhardt.

Inhalts-Verzeichniſs.

		Seite
§ 1.	Einleitung	1
§ 2.	Ausbildung des Transportwesens	5
§ 3.	Allgemeine Aufgabe der Theorie des Traſsirens	10
§ 4.	Das Marktgebiet	15
§ 5.	Das Straſsengebiet	19
§ 6.	Die Wasserstraſsen	26
§ 7.	Das Zufuhrgebiet der Eisenbahnen	28
§ 7a.	Der Satz vom Anschlusse	31
§ 8.	Der Satz vom Knotenpunkte	35
§ 9.	Die kommerzielle Traſse	44
§ 10.	Technische Festpunkte. Entwicklungsgebiet	47
§ 11.	Kreuzung	50
§ 12.	Normalbetriebsjahr. Normalbetriebskosten	52
§ 13.	Die Frachtsätze auf den Eisenbahnen	56
§ 14.	Differentialtarife und Abfertigungsgebühr	65
§ 15.	Der gemeinwirthschaftlich günstigste Frachtsatz der Eisenbahnen	71
§ 16.	Die Grundsätze der Tarifbildung der Eisenbahnen	78
§ 17.	Die Bauwürdigkeit geplanter Eisenbahnen	89
§ 18.	Die Wirkungen der Vervollkommnung der Verkehrsmittel	101

§ 1.

Einleitung.

Bei der Betrachtung des Transports hat man die Last, die Kraft und den Weg zu unterscheiden. Die Last setzt sich aus der Nutzlast, um deren Beförderung es sich handelt, und aus dem Fahrzeug zusammen, welches zur Verminderung der Bewegungswiderstände und zum Schutze der Nutzlast dienen soll. Bei der Kraft ist die bewegende Kraft von der Kraftmaschine oder der Einrichtung zur Aufnahme und Regelung der Kraft zu unterscheiden. Endlich ist beim Wege neben der Beschaffenheit der Wegoberfläche, der Fahrbahn, die Längengestaltung des Weges in Grundrifs- und Höhenlage, das ist die Trafse, in Betracht zu ziehen.

Die hiernach gesondert aufzufassenden sechs Haupttheile des Transports — Nutzlast, Fahrzeug, Kraft, Kraftmaschine, Fahrbahn und Trafse — liefern ebenso viele Eintheilungsgründe für die so mannigfach verschiedenen Arten des Transports, wobei aber das Fahrzeug keine für den öffentlichen Verkehr in Betracht kommende Theilung liefert und die Eintheilung nach Kraft und Kraftmaschine zusammenzufassen ist, so dafs die in der folgenden Uebersicht durchgeführten vier Eintheilungsgründe verbleiben.

I. Eintheilung nach der Fahrbahn.

1. Der Wasserweg.

a. Der Seeweg auf wellenbewegter Wasserfläche.

b. Der Flufsweg auf strömender Wasserfläche.

c. Der Kanalweg auf ruhiger Wasserfläche.

2. Der Landweg.

a. Die Strafse, bei welcher die Bahn ohne Führung für das Fahrzeug ist. Sie kann als Erdweg, Steinbahn, Holzbahn, Asphaltbahn u. s. w. hergestellt sein.

b. Die Spurbahn, welche mit einer Führung für das Fahrzeug versehen ist. Die Spur oder das Gleis ist selten aus Stein oder Holz, sondern in der Regel aus Eisen gebildet (Eisenbahn).

II. Eintheilung nach der Trafse.

1. Beim Wasserwege kommen die gleichen Eintheilungen wie für die Fahrbahn in Betracht, doch sind die Unterscheidungsgründe andere, indem

a. der Seeweg als der Weg auf horizontaler Fläche von unbegrenzter Breite zu kennzeichnen ist;

b. der Flufsweg als der Weg auf geneigter Wasserfläche von unregelmäfsiger Breite und mit vielen Krümmungen;

c. der Kanalweg als der Weg auf horizontaler Wasserfläche mit einzelnen vertikalen oder geneigten Steigungen, mit gleichbleibender beschränkter Breite und vorwiegend geradliniger Erstreckung.

2. Beim Landwege sind die Breite, die Steigungen und die Krümmungsverhältnisse, welche man als die drei Trafsirungs-Elemente bezeichnet, von noch gröfserer Bedeutung.

Die Breite wird für Strafsen wohl zur Veranlassung einer Eintheilung nach Klassen, während sie für die Eisenbahnen eine Unterscheidung in normalspurige und schmalspurige, in eingleisige, zweigleisige und mehrgleisige ergiebt.

Nach den Steigungen und Krümmungen unterscheidet man:

a. Flachlandstrafsen oder Flachlandbahnen. Die Trafse ist vorwiegend geradlinig, die vorkommenden Krümmungen haben so grofsen Halbmesser, dafs eine bemerkenswerthe Vermehrung des Widerstandes in denselben nicht eintritt. Die Steigungsverhältnisse sind überall so flach, dafs ein Bremsen bei der Thalfahrt nicht erforderlich ist. Das Längengefälle bleibt auf lange Erstreckungen unverändert. Die Höhenverhältnisse des Bodens sind auf die Lage der Trafse gar nicht oder doch nur ausnahmsweise von Einfluſs.

b. Hügellandstrafse oder Hügellandsbahn. Die Trafse hat häufige Wechsel zwischen geraden Linien und Krümmungen und häufige Veränderungen im Längengefälle. Die Krümmungshalbmesser sind mäfsig, aber die Kurven sind doch von merklichem Einflusse auf die Erhöhung des Zugwiderstandes. Auch die Steigungen sind mäfsig, aber erfordern doch in der Regel bei der Thalfahrt das Anziehen der Bremsen. Die Richtung und Höhenlage der Trafse ist wesentlich von der Bodengestaltung abhängig, welche zu Umwegen nöthigt, die aber lediglich zum Zwecke einer Ersparung an Baukosten und nicht zur Erreichung flacherer Steigungen gemacht werden.

c. Gebirgsstrafse oder Gebirgsbahn. Die Krümmungen sind so scharf, als es die Bauart der Fuhrwerke

erlaubt, und die Steigungen so steil, als es mit Rücksicht auf die Zugkraft zulässig ist. Die Trafse mufs in einzelnen Strecken entwickelt werden, das heifst, zur Erreichung einer Höhe mit genügend flachen Steigungen, eine künstliche Verlängerung erhalten.

III. Eintheilung nach der Nutzlast.

Nach der Art und Menge der Nutzlast unterscheidet man Strafsen für schweren und für leichten Verkehr, worauf in einzelnen Staaten eine Eintheilung der Strafsen nach verschiedenen Klassen sich stützt.

Für die Eisenbahnen führt die Art und Menge der Nutzlast zu folgender Eintheilung:

1. Hauptbahnen, auch Vollbahnen genannt, mit starkem Personen- und Güterverkehr, häufigen Tag- und Nachtzügen unter ausgeprägter Trennung der verschiedenen Zuggattungen (Schnellzüge, Personenzüge, gemischte Züge, Güterzüge, auch besondere Züge für Stückgüter, Roherzeugnisse, Kohlen, Vieh u. s. w.) mit ausgebildetem Signalwesen und kräftigem, in der Regel zweigleisigem Oberbau. Die monumental ausgeführten Bahnhöfe sind an den Hauptorten getrennt für Personen- und Güterverkehr mit ausgedehnten Rangir-Bahnhöfen eingerichtet. Zur Durchführung einer guten Trafse werden starke Erdarbeiten und kostspielige Kunstbauten nicht gescheut.

2. Nebenbahnen oder Lokalbahnen für einen mäfsigen Verkehr, gewöhnlich mit Ausschlufs des Nachtdienstes und der Schnellzüge; gemischte Züge herrschen vor. Das Signalwesen ist einfach, der meistens eingleisige Oberbau nicht allzu schwer. Bei Durchführung der Trafse werden starke Erdarbeiten oder theure Kunstbauten möglichst vermieden.

3. Bahnen von untergeordneter Bedeutung (auch wohl Sekundärbahnen genannt), welche ausschliefslich dem Güterverkehr (Industriebahnen) oder dem Personenverkehr (Touristenbahnen) oder als Anschlufsbahnen einem geringen Personen- und Güterverkehr dienen.

IV. Eintheilung nach der bewegenden Kraft und Kraftmaschine.

1. Beim Wasserweg.

a. Flöfserei-Betrieb und Schiffahrt zu Thal, unter Benutzung der Wasserströmung.

b. Schiffszug auf Kanälen und bei der Bergfahrt auf Flöfsen, in der Regel durch Pferde.

c. Ruder-Schiffahrt, welche für den öffentlichen Verkehr wenig in Betracht kommt.

d. Segelschiffahrt.

e. Dampfschiffahrt, entweder in freier Fahrt oder durch Tauerei.

2. Beim Landwege.

a. Beförderung durch thierische Kräfte, in der Regel durch Pferdebetrieb.

b. Dampfbetrieb durch Lokomotiven oder auch durch stehende Dampfmaschinen auf geneigter Ebene.

c. Wasserbetrieb, nur auf geneigter Ebene.

d. Elektrischer Betrieb.

e. Betrieb durch Benutzung der Expansivkraft gepreſster Luft.

§ 2.

Ausbildung des Transportwesens.

Die Ausbildung des Transportwesens ist für die gesammte Kultur-Entwicklung der Menschheit von so tiefgreifender Bedeutung, dafs andere diese Entwicklung

fördernden Einflüsse und Ursachen kaum an Wirksamkeit und Wichtigkeit damit verglichen werden können. Diese Wahrheit konnte in voller Klarheit erst seit der Verwendung der Dampfkraft zur Ueberwindung räumlicher Entfernungen erkannt werden, durch welche die Lebensthätigkeit des Menschengeschlechts eine Steigerung erfahren hat, gegenüber welcher frühere Blüthezeiten der Kultur nur wie ein Traumleben erscheinen.

Die Entwicklung des Transportwesens begann mit der Aufsuchung des besten Weges oder der natürlichen Trafse, welche durch die Thalzüge, die Furten der Flüsse, die Gebirgspässe, die Gestaltung der Küsten, die bequeme Beschaffenheit der Bodenfläche und unter Umständen auch durch die Rücksicht auf leichte Beschaffung von Trinkwasser und Nahrungsmitteln bestimmt wurde. Der Aufsuchung der natürlichen Trafse schlofs sich später eine zweite Entwickungsreihe des Transports durch die Ausbildung des Fuhrwerks an, welche bei den ältesten Kulturvölkern schon in vorgeschichtlicher Zeit bis zum Räderfuhrwerke und zum seetüchtigen Schiffe geführt wurde. In der Vervollkommnung des Fuhrwerks konnten weitere Fortschritte von Bedeutung aber erst mit der Ausbildung der Fahrbahn, welche die dritte Entwicklungsreihe des Transports umfafst, eintreten, was nur in einem wirthschaftlich geordneten Staatswesen möglich war. Die steinernen Pfade der Aegypter vom Nil bis zu den Erbauungsstätten der Pyramiden oder für die Umzüge der Opferfuhrwerke in der Umgebung der griechischen Tempel sind in dieser Beziehung von wenig Bedeutung, da sie nicht für den öffentlichen Verkehr bestimmt waren. Die ersten Anfänge im Bau öffentlicher Strafsen machten die Assyrer und Perser, aber erst die Römer gelangten zu einem ausgebildeten und zugleich ausgedehnten Strafsen-

bau. Mit dem Verfall des Römischen Reiches ging dieses Strafsennetz bis auf wenige noch jetzt erhaltene Reste zu Grunde, und es dauerte, abgesehen von einzelnen wenig nachhaltigen Bemühungen zur Verbesserung der Wege im Mittelalter, bis zum Anfang des siebzehnten Jahrhunderts, dafs sich in den neueren Kulturstaaten allmählich die Aufmerksamkeit dem Strafsenbau wieder zuwendete. Allgemein wurde aber erst in unserm Jahrhundert der Strafsenbau thatkräftig wieder aufgenommen und es hatte das Strafsennetz erst eine wenig genügende Ausdehnung erhalten, als mit der Einführung der Eisenbahnen eine neue Gestaltung der Fahrbahn eine die Strafsen in den Hintergrund drängende Bedeutung gewann. Diese neue Form der Fahrbahn — das Gleis — war nothwendig durch die Fortschritte geworden, welche in der vierten Entwicklungsreihe des Transportwesens, in der Ausbildung der bewegenden Kraft durch Verwendung der Dampfkraft, gemacht waren.

Bei der allmählich fortschreitenden Vervollkommnung des Transportwesens nach den genannten vier Entwicklungsreihen, der Trafse, des Fuhrwerks, der Fahrbahn und der bewegenden Kraft, riefen die in einer dieser Beziehungen gemachten Fortschritte in der Regel auch Verbesserungen in einer anderen Entwicklungsreihe hervor, so dafs ein stetiges Ineinandergreifen nach den einzelnen Entwicklungsreihen stattfand. Kennzeichnend für die Gesammt-Entwicklung ist eine fortwährende Zunahme der für den einzelnen Transportfall vorbereitenden Arbeiten, um dadurch die für die einzelne Nutzung erforderliche ausführende Arbeit zu vermindern, also ein stetiges Anwachsen des stehenden Kapitals zur Verminderung der für den einzelnen Transportfall aufzuwendenden Betriebskosten.

Aber durch die Vervollkommnung des Transports wurde nicht allein eine gröfsere Billigkeit erreicht, sondern auch eine Erhöhung der Schnelligkeit, Sicherheit, Regelmäfsigkeit und Bequemlichkeit, sowie eine häufig wiederkehrende Gelegenheit und gröfsere Leistungsfähigkeit des Transports gewonnen.

Unter allen diesen Vorzügen eines vervollkommneten Transportwesens hat die Billigkeit die allgemeinste Bedeutung, so dafs unter Umständen, z. B. für geringwerthige Massengüter, alle anderen Anforderungen dagegen zurücktreten; und daher der Wassertransport als der vollkommenste Transport für diesen Fall erscheinen kann. Wenn aber der Wassertransport durch niedrige Wasserstände oder durch Eis häufigeren und längeren Störungen unterworfen ist, so kann er selbst für geringwerthige Güter durch den regelmäfsigeren, wenn auch etwas theuereren Eisenbahn-Transport übertroffen werden, welcher für den Personenverkehr und für werthvolle Güter der grofsen Geschwindigkeit wegen im Allgemeinen als das vollkommenste Transportmittel zu bezeichnen ist. Für viele Fälle erfüllt aber auch eine Strafse wegen des zu jeder Zeit und an jeder Stelle möglichen Ab- und Zugangs die Anforderungen für den Transport am vollkommensten. Es kann sonach wegen der Verschiedenheit des Mafses, in welchem die einzelnen Anforderungen geltend zu machen sind, nicht irgend ein Transportmittel als das für alle Fälle vollkommenste bezeichnet werden. Auch selbst wenn man in einem gegebenen Falle über das Gewicht, welches man den verschiedenen Anforderungen beizulegen hat, klar ist, wird man doch weder für das Mafs dieser Forderungen noch für den Grad, in welchem sie erfüllt werden, eine gemeinsame Mafseinheit finden können. Indessen läfst sich doch der Er-

füllungsgrad mancher Anforderungen auf Geldwerthe zurückführen. So wird die Sicherheit durch die Höhe der zu zahlenden Unfallversicherungs-Prämie in Rechnung gestellt werden können. Der Vortheil gröfserer Geschwindigkeit läfst sich durch die Ersparung an Zinsen der Kosten der Güter oder an dem Arbeitslohn der beförderten Personen ausdrücken, wie beispielsweise die folgenden Rechnungen zeigen.

Legt ein Frachtwagen auf einer Strafse in 24 Stunden 30 Km, ein Güterzug auf der Eisenbahn 300 Km zurück, so kommt auf jeden Kilometer des Eisenbahntransports eine Zeitersparung von 0,03 Tagen. Dieser Zeitersparung entspricht bei Anrechnung eines Zinsfufses von 5 Prozent eine Zinsenersparung von 0,0004 Prozent, also für ein Gut, von welchem die Tonne 1000 Mark kostet, eine Ersparung von 0,4 Pfennig für den Tonnen-Kilometer. Beim Personenverkehr wird auf den Eisenbahnen im Vergleich mit der Beförderung auf Strafsen für jeden Kilometer eine Zeitersparung von etwa 6 Minuten erreicht, welche bei Annahme eines durchschnittlichen Werthes von 50 Pfennig für die Arbeitsstunde der beförderten Personen einer Ersparung von 5 Pfennig für den Personen-Kilometer gleichkommt.

Uebrigens wird durch solche Rechnungen der Vortheil gröfserer Geschwindigkeit noch nicht genügend gewürdigt. Die für den Einzelnen entstehende gröfsere Beweglichkeit, ferner die Möglichkeit, Güter bei eintretendem Bedürfnisse rasch beziehen zu können, ohne eine jeden voraussichtlichen Bedarf deckende Aufspeicherung derselben vornehmen zu müssen, welche mit Zinsverlust, Werthverschlechterung und Lagerkosten verbunden ist, auch die erweiterte Transportfähigkeit der dem Verderben leicht ausgesetzten Güter, das sind Vortheile der vergröfserten Transportgeschwindigkeit,

welche sich in bestimmten Zahlen nicht zutreffend feststellen lassen. Ebenso entziehen sich die Vortheile gröfserer Regelmäfsigkeit, besserer Schonung der Transportgüter, erhöhter Bequemlichkeit und Annehmlichkeit des Reisens einer zutreffenden Feststellung in bestimmten Zahlengröfsen.

Bei allgemeinen Betrachtungen wird man sich darauf beschränken müssen, den Grad der Vollkommenheit eines Transportmittels zunächst nach der allein mit Zuverlässigkeit festzustellenden Höhe der Transportkosten in Rechnung zu stellen und die übrigen Vorzüge des vollkommeneren Transports nachträglich schätzungsweise in Beurtheilung zu ziehen.

§ 3.

Allgemeine Aufgabe der Theorie des Trafsirens.

Die Transportkosten setzen sich zusammen aus den unmittelbar für die Transporteinheit (Tonnen-Kilometer oder Personen-Kilometer) aufzuwendenden Betriebskosten f und dem auf die Transporteinheit entfallenden Antheile der Zinsen des für die Transporteinrichtung aufgewendeten Anlagekapitals A, welcher bei einem Jahreszinsfufse i und einer jährlichen Verkehrsmenge C sich zu $\frac{Ai}{C}$ ergiebt. Die Kosten für die Transporteinheit sind demnach:

$$k = f + \frac{Ai}{C}.$$

Die unmittelbaren Transportkosten f sind abhängig von der Gröfse des Anlagekapitals, so dafs $f = F(A)$ zu setzen ist, und daher entsteht:

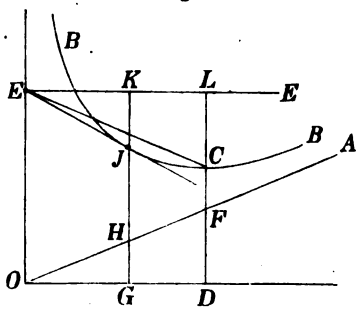
(Gl. 1) . . . . $k = F(A) + \frac{Ai}{C}$.

Es ist die Aufgabe, diese Transportkosten zu einem Minimum zu machen, also die durch Differentiation nach A sich ergebende Beziehung:

(Gl. 2) . . . . $F^1(A) + \frac{i}{C} = 0$
zu finden

Nimmt man die Gröfse des Anlagekapitals zur Abscisse an und trägt den Kostenantheil $\frac{Ai}{C}$ als Ordinate auf, so liegen die Endpunkte dieser Ordinaten auf einer vom Koordinatenursprunge aufsteigenden geraden Linie OA in Fig. 1. Trägt man ferner die dem Anlagekapitale entsprechenden unmittelbaren Transportkosten $f = F(A)$ als Ordinaten über der geraden Linie OA auf, so wird man als Verbindungslinie der Endpunkte dieser Ordinaten eine Kurve BCB erhalten. Der tiefste Punkt C dieser Kurve, für welchen die geringsten Transportkosten $k = \overline{DF} + \overline{FC}$ entstehen, entspricht der günstigsten Abmessung $\overline{OD}$ des Anlagekapitals; also der Bedingung $F^1(A) + \frac{i}{C} = 0$.

Fig. 1.



Es ist zu beachten, dafs diese günstigste volkswirthschaftliche Lösung aber nicht im Interesse eines Kapitalisten liegt, der sein Geld in der Transport-Unternehmung anlegt. Dieser verlangt für sein Kapital aufser dem üblichen Zinsfufse i eine möglichst hohe Dividende d. Wird als Frachtsatz für die Transporteinheit der Betrag e erhoben, so ist diese Dividende:

$$d = \frac{C\left[e - \left(f + \frac{Ai}{C}\right)\right]}{A}$$

oder unter Einsetzung von $f = F(A)$

(Gl. 3) . . . $d = \frac{C\left[e - \left(F(A) + \frac{Ai}{C}\right)\right]}{A}$ - - -,

für welche man ein Maximum erreicht, wenn A aus der durch Differentiation nach A gewonnenen Gleichung:

(Gl. 4) . . . $AF'(A) + [e - F(A)] = 0$

bestimmt wird.

Trägt man in Fig. 1 den zu erhebenden Frachtsatz $e = OE$ auf und zieht die mit der Abcissenachse parallele Linie $EKLE$, so geben JK und bezw. CL den nach gewöhnlicher Verzinsung des Anlagekapitals an jeder Transporteinheit erzielten Gewinn an, welcher für den Kapitalisten die Dividende ergiebt. Für die Einheit des Anlagekapitals ist diese Dividende $= \frac{CL}{EL}$ oder bezw. $= \frac{JK}{EK}$, erreicht also ihr höchstes Mafs für ein Anlagekapital $A = OG$, welches dem Punkte J entspricht, in welchem eine von E an die Betriebskostenkurve BCB gezogene Tangente diese berührt.

Bemifst der Kapitalist das Anlagekapital nach der für ihn zweckmäfsigsten Weise zu OG, so werden die aufzuwendenden Transportkosten GJ gröfser als die bei der im volkswirthschaftlichen Interesse günstigsten Kapitalanlage OD entstehenden Transportkosten DC; die Transport-Anlage erreicht nicht das mögliche Mafs der Vollkommenheit. Nur die Sorge, dafs durch den Wettbewerb anderer Unternehmer der zu erhebende Frachtsatz unter das Mafs OE herabgedrückt werden könne, würde zur Herstellung einer vollkommeneren Anlage führen können. Aber erst die Annahme, dafs der Frachtsatz so weit gedrückt werden könnte, um nur die übliche Verzinsung des Anlagekapitals zu gewähren, also dafs der Frachtsatz bis auf das Mafs CD sinken könne, würde einen Unternehmer

zu einer so reichlichen Kapitalabmessung veranlassen, als im volkswirthschaftlichen Interesse liegt.

Zur besseren Veranschaulichung möge noch für die $F(A)$, welche die Abhängigkeit der Betriebskosten von der Gröfse des Anlagekapitals angiebt, willkürlich irgend eine bestimmte Form angenommen werden. Die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer seien $f = F(A) = \left(0{,}015 + \frac{1000}{A}\right)$ Mark, dann erhält man für einen Verkehr von $C = 800\,000$ Tonnen und bei Zugrundelegung eines Zinsfufses $i = 0{,}05$ nach Gleichung 2 volkswirthschaftlich das günstigste Anlagekapital zu $A = 126\,500$ Mark für den Kilometer, wobei sich die Kosten für den Tonnen-Kilometer auf $f = 0{,}0229$ stellen würden. Eine Privatunternehmung würde bei Erhebung eines Frachtsatzes $e = 0{,}04$ aber zweckmäfsig nach Gleichung 4 nur ein kilometrisches Anlagekapital $A = 80\,000$ Mark aufwenden, wobei sich die Betriebskosten auf 0,0275 stellen und ein Betriebsüberschufs von $800\,000 . (0{,}04 - 0{,}0275) = 10\,000$ Mark gewonnen würde, der eine Verzinsung von $12\frac{1}{2}$ Prozent für das Anlagekapital ergiebt. Bei der volkswirthschaftlich richtigen Abmessung des Anlagekapitals würde der Betriebsüberschufs zwar gröfser, nämlich $800\,000\,(0{,}04 - 0{,}0229) = 13\,680$ Mark werden, aber nur eine Verzinsung von 10,8 Prozent für das Anlagekapital liefern. Bei der volkswirthschaftlich günstigsten Kapitalaufwendung werden nach der üblichen Verzinsung mit 5 Prozent noch 7355 Mark Ueberschufs erzielt, bei der Kapitalbemessung im privatwirthschaftlichen Interesse aber nur 6000 Mark, so dafs die Privatunternehmung volkswirthschaftlich $7335 - 6000 = 1335$ Mark jährlich für jeden Kilometer weniger gewinnen wird. Während im gemeinwirthschaftlichen Interesse nach

der üblichen Verzinsung des Anlagekapitals noch ein möglichst hoher Ueberschufs erzielt werden mufs, will die Privatunternehmung nicht diesen der absoluten Gröfse nach höchsten Gewinn, sondern den auf die Einheit des angelegten Kapitals entfallenden Gewinn möglichst hoch haben. Nur die Besorgnifs, dafs durch einen Wettbewerb anderer Unternehmer der Frachtsatz herabgedrückt werden könnte, kann die Privatunternehmung zur Anlage eines gröfseren Kapitals, also zu besserer Bauweise bestimmen; sie müfste, falls eine Ermäfsigung des Frachtsatzes auf 0,35 zu erwarten wäre, das Anlagekapital auf 100000 Mark festsetzen.

Da beim Eisenbahnbetrieb der Wettbewerb aber so gut wie ausgeschlossen ist und auf jeder einzelnen Linie bis zu einem gewissen Grade der Betrieb als Monopol ausgenutzt werden kann, so wird nach den entwickelten Rechnungen die vollkommenste Anlage der Eisenbahnen durch die Privatunternehmung nicht gesichert. Es ist dies zur Entscheidung der Frage, ob Staatsbahnen oder Privatbahnen den Vorzug verdienen, von wesentlicher Bedeutung, wenngleich hierbei auch noch andere Gesichtspunkte berücksichtigt werden müssen und besonders nicht geleugnet werden kann, dafs der rasche Ausbau des Eisenbahnnetzes durch die Ueberlassung an die Privatunternehmung besonders gefördert worden ist.

Für die Aufgabe der Vervollkommnung des Transports kann unter allen Umständen nur der volkswirthschaftliche und niemals der privatwirthschaftliche Gesichtspunkt in Frage kommen.

Kennte man die Form der $F(A)$, welche die Abhängigkeit der Betriebskosten von der Gröfse des Anlagekapitals ergiebt, so würde es möglich sein, für jede Menge

des jährlichen Verkehrs die zweckmäfsigste Gröfse des Anlagekapitals allgemein festzustellen. In solcher Allgemeinheit läfst sich begreiflicher Weise die Form der $F(A)$, welche von der Beschaffenheit der Fahrbahn, des Fuhrwerks, der bewegenden Kraft und der Trafse abhängig ist, nicht feststellen. In den folgenden Untersuchungen soll der Zustand der Fahrbahn, des Fuhrwerks und der bewegenden Kraft als gegeben betrachtet und die Abhängigkeit der Transportkosten von der Gestaltung der Trafse ermittelt werden. Diese Untersuchungen, auf Grund deren die Gesetze und Regeln für die Feststellung der Trafse abgeleitet werden, bilden die Theorie des Trafsirens.

Für die zweckmäfsigste Festlegung der Trafse sind die Verkehrsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit von Einfluſs. Um die Abhängigkeit der Trafse von diesen beiden Grundbedingungen klar zu erkennen, ist zunächst die Bodenbeschaffenheit ganz aufser Acht zu lassen und ein vollständig horizontaler und gleichartiger Baugrund anzunehmen. Die unter dieser Voraussetzung festgestellte zweckmäfsigste Trafse ist die kommerzielle Trafse, aus welcher unter Berücksichtigung der durch die Bodenverhältnisse gebotenen Abweichungen die technische Trafse abgeleitet wird.

§ 4.

Das Marktgebiet.

Die Ansiedelungsverhältnisse der Bevölkerung sind von der Art ihrer wirthschaftlichen Thätigkeit abhängig. Die Ansiedelung ist, so weit sich die Thätigkeit auf die Bewirthschaftung der Bodenfläche, also auf Land- und Forstwirthschaft, und auf manche Arten des Handwerks und

Kleingewerbes erstreckt, als gleichmäfsig über die Fläche vertheilt anzunehmen, wenngleich die Bevölkerung meistens in kleinen Ortschaften zusammengezogen lebt und die Gröfse der auf die Flächeneinheit kommenden Kopfzahl, also die Bevölkerungsdichtigkeit, je nach den örtlichen Verhältnissen verschieden ist. Ein anderer Theil der Bevölkerung, welcher dem Grofsbetriebe, den Berufsarten der Künstler und Gelehrten angehört oder aus Kaufleuten und Beamten besteht, lebt dagegen in den Städten vereinigt. Nach der Zählung von 1880 kommen von der 45 234 061 betragenden Gesammtbevölkerung Deutschlands 12 971 554 auf die Stadtbevölkerung, wobei 612 Orte mit mehr als je 5000 Einwohnern als solche gerechnet sind, und 32 262 507 auf die Landbevölkerung, so dafs bei einer Flächengröfse von 540 522 qkm durchschnittlich 60 Einwohner auf den Quadratkilometer ausschliefslich der städtischen Bevölkerung und 84 Einwohner im Ganzen kommen.

Der Austausch der Erzeugnisse zwischen der Bevölkerung der Städte und des platten Landes bildet den Lokal- oder Marktverkehr, im Gegensatz zu dem Grofs- oder Handelsverkehre, welcher zwischen den Städten stattfindet. Jede Stadt bildet den Marktort für ein sie umgebendes Marktgebiet.

Trotz der anscheinenden Unregelmäfsigkeit ihrer Gruppirung ist die Entstehung der Marktorte keineswegs eine zufällige; sie mufsten sich im Abstande einer Tagereise bilden, um noch für die entferntesten im halben Abstande zwischen zwei Marktorten belegenen Punkte die Hin- und Rückreise in einem Tage möglich zu machen und für die gröfseren Waarenzüge und Reisen sichere und bequeme Uebernachtungsorte zu bieten. Je schlechter die Wege waren, in um so gröfserer Nähe entstanden daher

die Marktorte, so dafs sie im Gebirge oder in Gegenden mit schwerem Boden in gröfserer Nähe als in der Ebene oder in bequemem Sandboden liegen. In Anlehnung an diese allgemeine Gesetzmäfsigkeit waren für die Bildung der Marktorte günstige örtliche Verhältnisse mancherlei Art entscheidend, etwa ein bequemer Flufsübergang, ein ausnutzbares Flufsgefälle, der Zusammenlauf zweier Thäler, der Zugang zu einem Gebirgspasse, ein guter Hafen, ein zur Vertheidigung geeigneter Punkt, Fundstätten von Mineralschätzen, warme oder heilkräftige Quellen u. s. w.

Die Grenzen der Marktgebiete werden durch die Preise der Güter an den benachbarten Marktorten bestimmt, welche im Allgemeinen nicht die gleichen sind; auch haben die von den Marktorten versendeten und in Wettbewerb tretenden Güter nicht immer für die Gewichtseinheit gleichen Werth. Bei Voraussetzung einer überall gleichen Wegsamkeit sind sonach im Allgemeinen für gleichwerthige Mengen der von zwei benachbarten Marktorten zur Versendung kommenden und in Wettbewerb tretenden Güter nicht die gleichen Frachtsätze für die Längeneinheit des Weges zu zahlen.

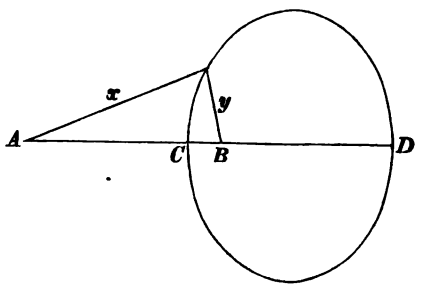
Wird in einem Marktorte A ein Gut zum Preise p abgegeben und mit einem Frachtsatze f versendet, so kostet es in einem Abstande x vom Marktorte $p + fx$; wird an einem benachbarten Marktorte B eine gleichwerthige Gütermenge zum Preise p_1 abgegeben und mit einem Frachtsatze f_1 versendet, so kostet diese in einem Abstande y von diesem Marktorte $p_1 + f_1 y$. Die Grenze beider Marktgebiete wird demnach durch die Gleichung:

(Gl. 5) . . . . $p + fx = p_1 + f_1 y$

festgelegt und bildet im Allgemeinen eine geschlossene Kurve (Fig. 2) um den Ursprungsort des schlechteren Guts,

dessen Gewichtseinheit den geringeren Werth hat und von welchem daher eine gleichwerthige Menge zu dem höheren Frachtsatze versendet wird.

Fig. 2.



Die Kurve ist vierten Grades und wurde von Cartesius eine Ellipse zweiter Ordnung genannt; sie ist die Grundrifs-Projektion der Durchdringungslinie zweier Kreiskegel mit vertikalen Achsen; die in der Verbindungslinie der beiden Marktorte liegende Achse der Kurve hat die Länge:

$$CD = \frac{2f_1 (p - p_1 + af)}{f_1^2 - f^2},$$

wenn a der Abstand der Marktorte ist.

Sind beide Güter gleichwerthig, so dafs also $f = f_1$ ist, so bildet die Grenze der Marktgebiete keine geschlossene Kurve, sondern eine Hyperbel, deren hohle Seite dem Marktorte zugekehrt ist, an welchem der höhere Preis besteht. Sind auch die Ursprungspreise an beiden Marktorten die gleichen, so geht die Hyperbel in eine die Verbindungslinie beider Marktorte in der Mitte rechtwinklich schneidende gerade Linie über.

Die Begrenzung der Marktgebiete bildet ein Polygon, dessen Seitenzahl der Anzahl der angrenzenden Marktgebiete entspricht und dessen Seiten, je nach den Um-

ständen, Ellipsen vierten Grades, Hyperbeln oder gerade Linien bilden.

Da es sich im Marktverkehr um eine grofse Anzahl verschiedener Güter handelt, für deren jedes sich je nach den örtlichen Preisunterschieden die Marktgebietsgrenzen verschieden ergeben und da die Preisunterschiede selbst bei jedem einzelnen Gute der Zeit nach Schwankungen unterworfen sind, so darf man die Grenzen der Marktgebiete nicht als scharf gezogene Linien auffassen; sie werden indessen durch die hauptsächlich in Betracht kommenden Güter doch eine ziemlich bestimmte Gestalt annehmen, welche nur im Laufe der Zeit durch die wechselnde wirthschaftliche Bedeutung der einzelnen Marktorte eine allmähliche Verschiebung erfahren, dagegen durch den Bau von Land- und Wasserstrafsen oder von Eisenbahnen oft sehr erhebliche Veränderungen erleiden, wie demnächst nachgewiesen werden wird.

Die Absatz- oder Bezugsgebiete des grofsen Handelsverkehrs greifen weit hinaus über den Umfang einzelner Marktgebiete und sind für manche Güter oft von unbeschränkter Ausdehnung.

§ 5.

Das Strafsengebiet.

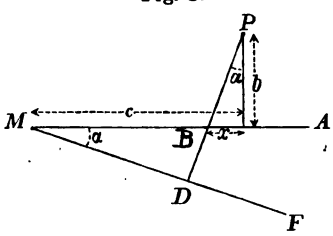
Bei Voraussetzung einer überall gleichen Wegsamkeit und Verkehrsdichtigkeit wird das Bedürfnifs für die Herstellung eines besseren Weges zunächst für die von Marktort zu Marktort führenden Linien hervortreten, weil diese neben dem örtlichen Marktverkehre auch dem gröfseren Handelsverkehre dienen. Diese Linien sind die Strafsen erster Ordnung und bilden ein Netz von Dreiecken, deren Seiten strahlenförmig in den Marktorten zusammen-

laufen. Die in der Mitte dieser Dreiecke belegenen Gegenden sind in Bezug auf die Zugänglichkeit zu den sie umgebenden drei Marktorten in ungünstigster Lage, was an diesen Punkten Veranlassung für die Entstehung von Marktorten zweiter Ordnung oder Marktflecken giebt, welche aus ihrer nächsten Umgebung einen kleinen Zwischenverkehr mit den benachbarten Marktorten an sich ziehen. Für diese Marktflecken ergiebt sich das Bedürfnifs einer guten Wegeverbindung mit den benachbarten Marktorten, wodurch die Strafsen zweiter Ordnung entstehen.

Sind natürliche oder künstliche Wasserstrafsen oder auch Eisenbahnen vorhanden, so bilden deren Ladestellen oder Stationen den Ausgangspunkt von Strafsen, welche man als Zufuhrstrafsen bezeichnen kann.

Bei der jetzt erreichten Ausdehnung des Eisenbahnnetzes dienen die Strafsen fast ausschliefslich nur noch dem Marktverkehr und ihre Bauwürdigkeit hängt von der Gröfse und wirthschaftlichen Bedeutung des Gebietes ab, für welches sie den Verkehr mit dem Marktorte vermitteln.

Fig. 3.



Von einem seitlich der Strafse *MA* liegenden Punkte *P* (Fig. 3) wird der Verkehr sich nicht direkt zum Marktorte in der Linie *PM* wenden, sondern sich der Strafse in einer Linie *PB* zuwenden und von *B* ab die Strafse benutzen, so dafs, wenn f der Frachtsatz auf dem ungebahnten Wege *PB* und f_1 der Frachtsatz auf der Strafse ist, die Fracht bis zum Marktorte ist:

$$k = f \,.\, \overline{PB} + f_1 \,.\, \overline{BM},$$

oder unter Einführung der Längenbezeichnungen in der Figur:

(Gl. 6) . . $k = f(x^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} + f_1(c - x)$.

Es wird nun von dem rechtwinklichen Zugange zur Strafse um einen solchen Winkel α abzuweichen sein, dafs die Frachtkosten zu einem Minimum werden, wofür sich die Bedingung durch Differentiation nach x ergiebt zu:

$$\frac{dk}{dx} = f \frac{x}{(b^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} - f_1 = 0,$$

woraus folgt:

(Gl. 7) . . . . . $\sin \alpha = \frac{f_1}{f}$.

Zieht man die Linie MF unter diesem Winkel α zur Strafse, so mufs der Verkehr aus dem jenseits gelegenen Theile des Strafsengebiets von allen Punkten rechtwinklich gegen diese Linie MF gerichtet sein, welche daher die Zugangsfront genannt werde. Dabei werden die Frachtkosten

$$k = f \,.\, PB + f_1 \frac{BD}{\sin \alpha}$$

und nach Einsetzung des Werthes $\sin \alpha = \frac{f_1}{f}$. zu:

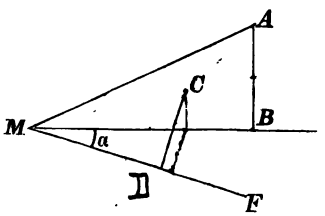
$$k = f \,.\, \overline{PD},$$

also so grofs, als ob die Reise auf ungebahntem Wege in rechtwinklicher Richtung bis zur Zugangsfront zurückgelegt werden müfste. Nach Anlage der Strafse ist also nicht mehr der radiale Zugang zum Marktorte für die Richtung und die Kosten des Transports bestimmend, sondern sowohl für die Richtung wie für die Kosten des Verkehrs tritt an Stelle des Marktorts die in rechtwinklichem Zugange zu erreichende Zugangsfront.

Die Grenze zwischen den Gebieten benachbarter, vom Marktorte strahlenförmig ausgehender Strafsen ist unter Festhaltung der Voraussetzung einer gleichartigen Weg-

samkeit der Bodenfläche eine gerade, vom Marktorte ausgehende Linie, welche den am Marktort von beiden Strafsen gebildeten Winkel in zwei gleiche Hälften theilt. Da ferner die dem angrenzenden Marktgebiete zugekehrte Grenze des Strafsengebiets eine die Strafse rechtwinklich kreuzende Grade sein mufs, so wird das Strafsengebiet durch die Strafse in zwei rechtwinkliche Dreiecke zerlegt.

Fig. 4.



Ist MAB (Fig. 4) die eine Hälfte des Strafsengebiets, MF die Zugangsfront für den Verkehr, ist die Länge der Strafse $MB = l$, die Breite $AB = c$ und γ die auf die Flächeneinheit des Strafsengebiets jährlich kommende Verkehrsmenge, welche als Verkehrsdichtigkeit zu bezeichnen ist, so ist die zu befördernde Gütermenge $Q = \frac{1}{2}\gamma cl$, und die gesammten Beförderungskosten sind so grofs, als ob diese Verkehrsmenge vom Schwerpunkte C des Dreiecks MAB auf rohem Erdwege rechtwinklich gegen die Zugangsfront in der Linie CD transportirt werden müfste, mithin $K = Q \,.\, f \,.\, CD$, oder:

$$K = \frac{1}{2}\gamma fcl\left(\frac{2}{3}\, l \sin\alpha + \frac{1}{3}\, c\cos\alpha\right).$$

Sind die zu beiden Seiten der Strafse liegenden Strafsengebiete gleich grofs, so sind, wenn mit $b = 2c$ die ganze Breite des Strafsengebiets an der Marktgrenze bezeichnet wird, die Transportkosten für das ganze Strafsengebiet:

$$K = \gamma fbl\left(\frac{1}{3}\, l \sin\alpha + \frac{1}{12}\, b\cos\alpha\right).$$

Um den gesammten Kostenaufwand zu erhalten, welchen der Transport innerhalb des Strafsengebiets in einem Jahre

erfordert, sind zu den eigentlichen Transportkosten K noch die Zinsen des Anlagekapitals der Strafse und die Unterhaltungskosten derselben hinzuzufügen. Sind A die kilometrischen Anlagekosten und ist i der Zinsfufs, so sind die Zinsen des Anlagekapitals $= Ail$. Die Unterhaltungskosten für den Kilometer sind $= B + \beta C$, worin B eine Konstante, β ein Koeffizient und C die durchschnittliche jährliche Verkehrsmenge ist. Da der ganze Verkehr die Strafse durchschnittlich nur auf $^2/_3$ ihrer Länge benutzt, so ist $C = \frac{1}{3}\gamma bl$ zu setzen. Sonach ergiebt sich die Gesammtsumme der Bau-, Unterhaltungs- und Transportkosten zu:

$$S = \frac{1}{3}\gamma fbl^2 \sin\alpha + \frac{1}{12}\gamma fb^2 l\cos\alpha + Ail + Bl + \frac{1}{3}\gamma\beta bl^2,$$

woraus man durch Theilung mit der Verkehrsmenge $\frac{1}{2}\gamma bl$ die Kosten für die Gewichtseinheit erhält zu:

$$\text{(Gl. 8)} \qquad k = \frac{2}{3}fl\sin\alpha + \frac{1}{6}fb\cos\alpha + \frac{2Ai}{\gamma b} + \frac{2B}{\gamma b} + \frac{2}{3}\beta l.$$

Hierin stellt das erste Glied die durchschnittlich für den Transport auf der Strafse aufzuwendenden Kosten dar, das zweite Glied die durchschnittlichen Transportkosten bis zur Strafse auf rohem Wege, das dritte Glied den auf die Gewichtseinheit entfallenden Theil der Zinsen des Anlagekapitals der Strafse, das vierte Glied den aus dem konstanten vom Verkehr unabhängigen Theile der Unterhaltungskosten stammenden Betrag und endlich das letzte Glied die vom Verkehr abhängigen Unterhaltungskosten der Strafse.

Zur Bestimmung der zweckmäfsigsten Dichtigkeit des Strafsennetzes ist zu untersuchen, für welchen Werth von b die auf die Verkehrseinheit entfallenden Kosten k am kleinsten werden. Differentiirt man nach b und setzt den

Differentialquotienten gleich Null, so erhält man als günstigsten Werth für b:

(Gl. 9) . . . . $b = \sqrt{\frac{12\,(Ai + B)}{\gamma f \,.\, \cos \alpha}}$.

Da auf die Fläche $\frac{1}{2}\,bl$ des Strafsengebiets l Kilometer Strafse kommen, so kommt auf einen Quadratkilometer eine Strafsenlänge $\delta = \frac{2}{b}$, welchen Werth man als die Dichtigkeit des Strafsennetzes bezeichnet.

Die günstigste Dichtigkeit des Strafsennetzes ist daher:

(Gl. 10) . . . $\delta = \sqrt{\frac{\gamma f \,.\, \cos \alpha}{3\,(Ai + B)}}$.

Die Dichtigkeit des Strafsennetzes sollte also proportional der Quadratwurzel aus der Verkehrsdichtigkeit und umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus den Strafsenbaukosten sein.

Wird der Frachtsatz für den Tonnen-Kilometer auf Strafsen zu 20 Pfennig und auf rohen Erdwegen zu 80 Pfennig angenommen, so ist $\sin \alpha = 0{,}25$ und $\cos \alpha = 0{,}94$. Die Verkehrsdichtigkeit ist in Wirklichkeit nicht konstant, wie in den vorstehenden Rechnungen angenommen würde, sondern sie nimmt mit der Zunahme der Transportkosten, also mit dem Abstande von der Zugangsfront, nach irgend welchem Gesetze ab, so dafs der Verkehrsschwerpunkt geringere Entfernung vom Marktorte als der Schwerpunkt des Strafsengebiets hat. Schätzungsweise kann man daher in der entwickelten Formel für die günstigste Dichtigkeit des Strafsennetzes statt $3\,(Ai + B)$ zutreffender etwa $2\,(Ai + B)$ einsetzen, so dafs, wenn auch genau genug $\cos \alpha = 1$ gesetzt wird, jene Formel wird zu:

(Gl. 11) . . . . $\delta = \sqrt{\frac{\gamma f}{2\,(Ai + B)}}$.

Nimmt man im Durchschnitt die Verkehrsdichtigkeit für den Quadratkilometer zu 100 Tonnen an, die kilometrischen Neubaukosten der Straſsen im Durchschnitt zu 12 000 Mark, den Zinsfuſs zu 4 Prozent, die konstanten, vom Verkehr unabhängigen Unterhaltungskosten der Straſsen zu 150 Mark für den Kilometer, so ist die günstigste Dichtigkeit des Straſsennetzes:

$$\delta = \sqrt{\frac{100 \,.\, 0{,}8}{2\,(12\,000 \,.\, 0{,}04 + 150)}},$$

das ist:

$$\delta = \frac{1}{4}.$$

Die zweckmäſsigste Länge des deutschen Straſsennetzes müſste daher bei einer Flächengröſse des Reichs von 540 522 Quadratkilometer rund 135 000 Kilometer betragen. In Wirklichkeit ist diese Ausdehnung des Straſsennetzes nahezu erreicht.

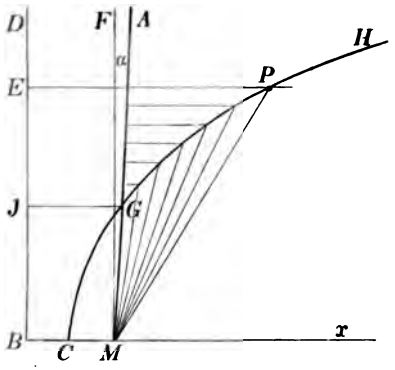
Begreiflicher Weise hat aber eine solche Durchschnittsrechnung, welche sich auf eine unsichere Schätzung der durchschnittlichen Verkehrsdichtigkeit und auf die Voraussetzung einer gleichartigen, horizontalen Bodenbeschaffenheit stützt, praktisch nur geringen Werth. Von Bedeutung ist nur der Nachweis des Gesetzes, nach welchem die günstigste Dichtigkeit des Straſsennetzes von der Quadratwurzel der Verkehrsdichtigkeit und der Baukosten abhängig ist, sowie die Hervorhebung der Thatsache, daſs es auch für den Straſsenbau eine aus wirthschaftlichen Rücksichten nicht zu überschreitende Grenze giebt und daſs man sich bei dem Ausbau des Straſsennetzes nicht durch Schlagworte, wie „ein jedes Dorf muſs seine Straſsenverbindung haben“, leiten lassen darf.

§ 6.

Die Wasserstrafsen.

Bei der Güterversendung auf Wasserstrafsen mufs in der Regel die Zufuhr bis zur Einladung in die Schiffe auf Landwegen erfolgen und meistens auch die Abfuhr vom Löschplatze der Schiffe bis zum Bestimmungsorte der Güter wieder auf Wagen geschehen. Die Kosten für dieses zweimalige Umladen werden gleich u für die Tonne und der Frachtsatz für den Tonnen-Kilometer auf den Wasserstrafsen zu f_{11} gesetzt. Da dieser Frachtsatz f_{11} zu etwa 2 Pfennig anzunehmen ist, so weicht die Zugangsfront für den Zugang auf rohem Wege nur unter einem sehr kleinen Winkel von der Richtung der Wasserstrafse ab, für welchen man hat $\sin \alpha = \frac{2}{80}$. Trägt man, wie in Fig. 5, zu der

Fig. 5.



Zugangsfront MF eine Paralelle BD im Abstande $MB = \frac{u}{f}$ auf, so werden die Transportkosten von irgend einem Punkte P bis zum Marktorte unter Benutzung der Wasserstrafse MA durch die Kosten bestimmt, welche ein Transport auf rohem Wege in der Linie PE erfordern würde,

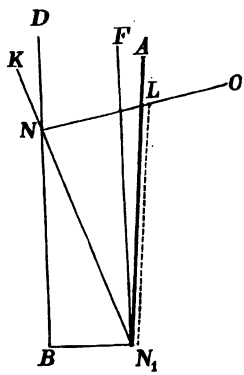
die rechtwinklich gegen die verschobene Zugangsfront BD gerichtet ist.

Die Grenzlinie zwischen dem Theile des Marktgebietes, aus welchem der Verkehr direkt ohne Benutzung der Wasserstrafse nach dem Marktorte sich wenden mufs, und dem Gebiete, welches der Wasserstrafse sich zuwenden wird, ist daher eine Parabel $CGPH$, deren Parameter $= BM = \frac{u}{f}$ ist, deren Achse CMX rechtwinklich zur Zugangsfront MF durch M geht und deren Scheitel C in der Mitte von BM liegt. Der kürzeste Abstand, auf welchem die Wasserstrafse benutzt wird, ist:

$$GM = GJ = \frac{\frac{u}{f}}{1 - \sin \alpha} = \frac{u}{f - f_{11}},$$

also, wenn die Kosten des doppelten Umladens für eine Tonne zu $u = 150$ Pfennig angenommen werden, gleich $\frac{150}{80 - 2}$ = rund 2 Kilometer.

Fig. 6.



Führt parallel der Wasserstrafse MA eine Landstrafse ML (Fig. 6), deren Zugangsfront MK ist, so ist die Grenze der Gebiete, aus welchen die Wasserstrafse oder die Landstrafse zweckmäfsig benutzt werden, durch eine gerade Linie NLO gegeben, welche den Winkel MND halbirt, den die Zugangsfront der Landstrafse MK und die verschobene Zugangsfront BD der Wasserstrafse mit einander bilden. Der geringste Abstand ML, für welchen die Wasserstrafse in Benutzung kommt, ergiebt sich aus der Gleichung:

$$f_1 . ML = u + f_{11} . ML$$

zu:

$$ML = \frac{u}{f_1 - f_{11}},$$

mithin für $u = 150$, $f_1 = 20$ und $f_{11} = 2$ zu $8^1/_3$ Kilometer.

Es erlangen also im Wettbetriebe mit Landstrafsen die Wasserstrafsen erst für die entfernteren Theile des Marktgebiets den Vorzug.

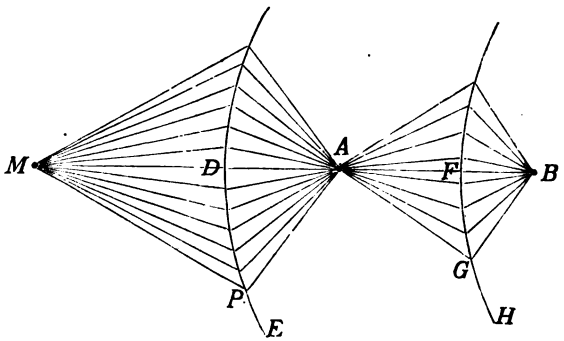
§ 7.

Das Zufuhrgebiet der Eisenbahnen.

Die Zugänglichkeit der Eisenbahnen unterscheidet sich von der der Land- und Wasserstrafsen, welche im Allgemeinen an jedem Punkte ihrer Länge zugänglich sind, dadurch, dafs sie nur an einzelnen Punkten ihrer Länge, an den Stationen, einen Ab- und Zugang des Verkehrs gestatten.

Geht vom Marktorte M eine Bahn MAB (Fig. 7) aus, deren Stationen A, B u. s. w. sind, ist der Frachtsatz auf der Eisenbahn $= f_{11}$ für den Tonnen-Kilometer und sind die

Fig. 7.



Kosten eines doppelten Umladens für die Tonne $= u$, so betragen für einen Punkt P die Transportkosten bis zum Marktorte, beim Anschlufs an die Eisenbahn in A:

$$u + f_{11} \cdot a + f \cdot \overline{AP}$$

und bei direktem Zugange zum Marktorte auf rohem Wege:

$$f \cdot \overline{MP}.$$

Für einen Punkt P der Grenze des Stationsgebiets A besteht daher die Bedingung:

$$f \cdot \overline{MP} = u + f_{11}\, a + f \cdot \overline{AP},$$

oder:

$$\overline{MP} - \overline{AP} = \frac{u + f_{11}\, a}{f}.$$

Die Grenzlinie DPE des Stationsgebiets ist also eine Hyperbel und ebenso die Grenzlinie FGH der Stationsgebiete A und B.

Beträgt der Frachtsatz auf Eisenbahnen 4 Pfennig für den Tonnen-Kilometer, ist der Abstand der ersten Station A vom Marktorte $= 6$ Kilometer und setzt man die Kosten des doppelten Umladens wieder zu 150 Pfennig, so erhält man die Entfernung $\overline{MD}$, bis zu welcher die Eisenbahn unbenutzt bleibt, aus der Gleichung:

$$150 + 6 \,.\, 4 + (6 - \overline{MD})\, 80 = \overline{MD} \,.\, 80$$

zu:

$$\overline{MD} = 4 \text{ km}.$$

Führt aber parallel mit der Eisenbahn eine Landstrafse, so würde die erste Station A für den Güterverkehr gar nicht benutzt werden und erst von einem Punkte F zwischen der ersten und der zweiten, um 12 Kilometer vom Marktorte entfernten Station B, der Verkehr sich dieser letzteren Station und nicht mehr direkt auf der Landstrafse dem Marktorte zuwenden, für dessen Abstand MF man hat:

$$150 + 12 \,.\, 4 + (12 - \overline{MF})\, 20 = \overline{MF} \,.\, 20,$$

also:

$$\overline{MF} = 11 \text{ km}.$$

Die Eisenbahnen wie die Wasserstrafsen vermögen also für den kleineren Marktverkehr die Landstrafsen nicht zu ersetzen und kommen erst für den Marktverkehr gröfserer

Städte, deren Versorgungsgebiet eine grofse Ausdehnung hat, in Betracht. Auf je 1000 von den 12 971 554 Einwohnern der 612 Städte Deutschlands mit mehr als 5000 Einwohnern kommen durchschnittlich von der Gesammtflächengröfse Deutschlands 41,7 Quadratkilometer, so dafs eine Stadt von 10000 Einwohnern im Durchschnitt ein Versorgungsgebiet von $12^1/_3$ Kilometer Halbmesser haben wird, woraus folgt, dafs im Allgemeinen erst bei Städten von dieser Gröfse ab die Eisenbahnen für den Marktverkehr in Betracht kommen.

Die gröfsere und weit überwiegende Bedeutung der Wasserstrafsen und Eisenbahnen beruht auf der Vermittelung des Grofsverkehrs, welcher durch die Verminderung des Frachtsatzes einen so aufserordentlichen Aufschwung genommen hat.

Verträgt ein Gut die Versendungskosten v, so kann es bei einem Frachtsatze f auf eine Entfernung $\frac{v}{f}$ versendet werden, mithin über ein Gebiet von $\frac{v^2\pi}{f^2}$. Da die zur Versendung gelangende Gütermenge im Allgemeinen der Gröfse des Versendungsgebietes proportional ist, so folgt, dafs die Gröfse des Güterverkehrs umgekehrt proportional dem Quadrate des Frachtsatzes wachsen mufs. Die Zahl der Tonnen-Kilometer wächst dabei umgekehrt proportional mit der dritten Potenz des Frachtsatzes.

Durch die Einführung der Eisenbahnen, welche zu einem Frachtsatze von durchschnittlich etwa 4 Pfennig für den Tonnen-Kilometer die Güter befördern, hätte daher die beförderte Gütermenge gegenüber dem Verkehr auf Landstrafsen zu einem Frachtsatze von 20 Pfennig auf das Fünfundzwanzigfache wachsen müssen und bei einzelnen Massengütern, für welche die Eisenbahnen wenig mehr als

2 Pfennig für den Tonnen-Kilometer erheben, sogar nahezu auf das Hundertfache. Freilich wird nicht für alle Güter eine Steigerung des Verkehrs nach diesen Verhältnissen eintreten, entweder weil sie überhaupt nicht in der dafür erforderlichen Menge vorhanden sind oder weil ihre Versendungsweite durch den Wettbewerb benachbarter Erzeugungsorte, unter Umständen auch durch Zollgrenzen u. dergl., eine Einschränkung erleidet.

Die Voraussetzung einer gleichmäfsig oder doch nach einem bestimmten Gesetze über die Erdoberfläche vertheilten Verkehrsdichtigkeit, welche bis jetzt festgehalten wurde, ist nur zulässig, so lange es sich um Fesstellung allgemeiner Gesetze für das Verkehrswesen handelt. Für bestimmte Aufgaben des Trafsirens kann jene Voraussetzung nur noch für die Festlegung der Forst- und Feldwege festgehalten werden. Für die weitergehenden Aufgaben des Trafsirens der Strafsen, Kanäle und Eisenbahnen ist aber die Thatsache zu Grunde zu legen, dafs die menschlichen Ansiedelungen und das davon abhängige Verkehrsbedürfnifs gruppenweise in den einzelnen Ortschaften zusammengezogen sind. Die kommerzielle Trafse ist sodann nach der Lage und Verkehrsbedeutung der verschiedenen in Betracht kommenden Ortschaften zu bestimmen.

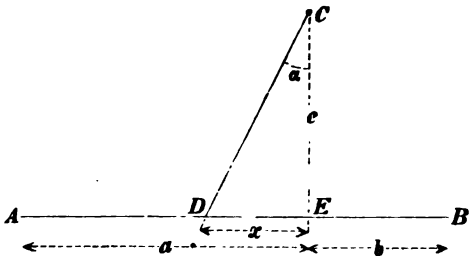
§ 7.

Der Satz vom Anschlusse.

Die einfachste Aufgabe der kommerziellen Trafsirung besteht in der Bestimmung des zweckmäfsigsten Anschlusses eines einzigen Ortes an einen bereits vorhandenen Verkehrsweg. Ist C dieser Ort und AB der vorhandene Verkehrsweg (Fig. 8), so ist der Punkt D zu bestimmen, in welchem am zweckmäfsigsten der Anschlufsweg CD in den vor-

handenen Verkehrsweg AB einmündet, oder auch der Winkel α, unter welchem dieser Anschlufsweg von der rechtwinklich gegen AB gerichteten Linie CE abweichen mufs.

Fig. 8.



Ist die Menge der voraussichtlich in C jährlich ankommenden und abgehenden Güter $= C$ Tonnen, der Frachtsatz auf dem Anschlufswege CD für den Tonnen-Kilometer $= f$, geht von dieser Verkehrsmenge C ein Theil A in der Richtung von D nach A, ein anderer Theil B in der Richtung von D nach B und beträgt der Frachtsatz auf dem Wege $AB = f_1$ für den Tonnen-Kilometer, so sind die jährlichen Verkehrskosten:

$$Cf\,(c^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} + Af_1\,(a - x) + Bf_1\,(b + x).$$

Sind die kilometrischen Anlagekosten des Weges CD gleich K, die Unterhaltungskosten für den Kilometer $= U + \beta\,.\,C$, so sind, unter Anrechnung eines Zinsfufses i, die gesammten Bau- und Unterhaltungskosten im Jahre:

$$(Ki + U + \beta C)\,(c^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} + \beta_1 A\,(a - x) + \beta_1 B\,(b + x).$$

Die Summe der Verkehrs- und Baukosten ist also:

(Gl. 12) $$S = [Ki + U + (\beta + f)C]\,(c^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} + (\beta_1 + f_1)\,A\,(a - x) + (\beta_1 + f_1)\,B\,(b + x).$$

Um zu erfahren, für welchen Werth von x diese Gesammtkosten am kleinsten werden, setzt man den Differentialquotienten nach x gleich Null und erhält:

$$[Ki + U + (\beta + f)\,C]\,\frac{x}{(c^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} + (B - A)\,(\beta_1 + f_1) = 0,$$

und da $\frac{x}{(c^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} = \sin\alpha$ ist:

(Gl. 13) $$\sin\alpha = \frac{(A - B)\,(\beta_1 + f_1)}{Ki + U + (\beta + f)\,C}.$$

Zur Erläuterung möge ein Beispiel berechnet werden. Im rechtwinklichen Abstande $c = 2$ km von einer Strafse AB liege ein Dorf C mit 1000 Einwohnern, von welchem bei Verkoppelung der Feldmark ein Anschlufsweg mit Erdbahn bis zur Strafse hergestellt werden soll, für welchen $K = 5000$, $U = 100$, $\beta = 0{,}02$ und $f = 0{,}50$ anzusetzen ist und auf welchem voraussichtlich jährlich 1500 Tonnen transportirt werden, von welchen 1300 auf die Richtung nach A und 200 auf die Richtung nach B entfallen. Für die Strafse AB ist $\beta_1 = 0{,}03$ und $f_1 = 0{,}20$, so dafs bei Anrechnung eines Zinsfufses $i = 0{,}04$ sich ergiebt:

$$\sin\alpha = \frac{(1300 - 200)\,0{,}23}{5000\,.\,0{,}04 + 100 + 1500\,.\,0{,}52} = 0{,}234.$$

Mithin mufs die Abweichung x von dem rechtwinklichen Anschlusse 0,482 Kilometer betragen und der Anschlufsweg erhält eine Länge von 2058 Meter.

Abgesehen von dem für jede Richtung des Anschlufsweges unverändert bleibenden Betrage $(\beta_1 + f_1)\,(Aa + Bb)$ stellen sich die Gesammtkosten bei dieser Anordnung des Anschlufsweges zu:

$$S = (5000\,.\,0{,}04 + 100 + 1500\,.\,0{,}52)\,2{,}058$$
$$- (1300 - 200)\,0{,}23\,.\,0{,}482 = 2101 \text{ Mark}.$$

Wäre der Anschlufsweg rechtwinklich gegen die Strafse geführt, so würden sich diese Kosten auf 2160 Mark, also um 59 Mark höher als bei der berechneten günstigsten Richtung stellen.

Sollte der Anschlufsweg mit Steinbahn strafsenmäfsig ausgebaut werden, so würden bei einem kilometrischen Kostenaufwande von 14000 Mark für die günstigste Richtung sich ergeben:

$$\sin \alpha = \frac{(1300 - 200)\,0{,}23}{14000 \,.\, 0{,}04 + 150 + 1500 \,.\, 0{,}23} = 0{,}240,$$

also unerheblich gröfser als für einen unbesteinten Anschlufsweg.

In einzelnen Fällen können zwei Anschlufswege, von denen der eine dem Verkehr in der Richtung nach A, der andere in der Richtung nach B dient, vortheilhafter als ein einziger Anschlufsweg sein.

Würde in dem betrachteten Falle für die Richtung auf A ein besteinter, für die Richtung auf B ein unbesteinter Anschlufsweg hergestellt, so erhielte man für die Abweichung von dem rechtwinklichen Anschlusse:

$$\sin \alpha = \frac{1300 \,.\, 0{,}23}{14000 \,.\, 0{,}04 + 150 + 1300 \,.\, 0{,}23} = 0{,}296$$

und:

$$\sin \alpha_1 = \frac{200 \,.\, 0{,}23}{5000 \,.\, 0{,}04 + 100 + 200 \,.\, 0{,}52} = 0{,}114.$$

Ein solcher doppelter Anschlufs wäre aber für so geringen Verkehr weit theurer als ein einziger Anschlufsweg.

Für den Zufuhrweg zu einer Eisenbahn ist die Abweichung der günstigsten Anschlufsrichtung von der rechtwinklichen stets so gering, dafs deren Bestimmung ohne Werth ist.

Von gröfserem Einflusse wird die Richtung des Anschlusses aber wieder beim Anschlusse einer Zweigbahn an eine bereits vorhandene Bahn. Betragen z. B. die kilometrischen Neubaukosten der Zweigbahn 60000 Mark, die jährlichen kilometrischen Unterhaltungs- und Bahnbewachungskosten 2000 Mark, die Betriebskosten für den

Tonnen-Kilometer 0,02 Mark, so entsteht bei einem Verkehr von 80000 Tonnen, von welchen auf die Richtung nach A 70000 Tonnen und auf die Richtung nach B 10000 Tonnen kommen, für den zweckmäfsigsten Anschlufs:

$$\sin \alpha = \frac{(70000 - 10000)\,0{,}02}{60000 \,.\, 0{,}04 + 2000 + 80000 \,.\, 0{,}02} = 0{,}2.$$

In den meisten Fällen wird man aber zur Ersparung der Anlage eines neuen Bahnhofes oder zur Vermeidung der Einmündung der Zweigbahn auf freier Strecke vorziehen, die Zweigbahn auf die dem günstigsten Anschlufspunkte zunächst liegende Station zu führen.

§ 8.

Der Satz vom Knotenpunkte.

Ist die Linie zwischen zwei Orten A und B, mit welchen ein dritter Ort C in Verbindung gebracht werden soll, noch nicht ausgebaut, so ist es vortheilhaft, die Linie AB nicht geradlinig zu führen, sondern in dem gebrochenen Zuge APB herzustellen, um die Anschlufslinie CP dadurch abzukürzen. Die Lage des Knotenpunktes P mufs dabei so gewählt werden, dafs die Summe der Bau- und Betriebskosten ein Minimum wird.

Werden auf den drei Strahlen AP, BP und CP jährlich beziehungsweise A, B und C Tonnen zu kilometrischen Frachtsätzen von beziehungsweise f, f_1 und f_{11} Mark befördert, sind ferner die kilometrischen Anlagekosten für die drei Strahlen K, K_1 und K_{11}, die kilometrischen Unterhaltungskosten U, U_1 und U_{11}, so hat man für die kilometrischen Bau- und Betriebskosten auf der Linie AP den Betrag:

$$A_1 = Ki + U + f \,.\, A,$$

auf der Linie BP:

$$B_1 = K_1 i + U_1 + f_1 B$$

und auf der Linie CP:

$$C_1 = K_{11} i + U_{11} + f_{11} C.$$

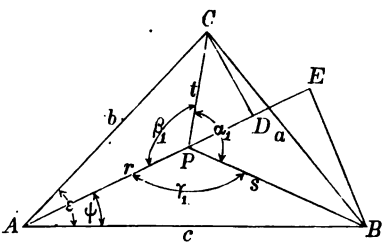
Nach den Bezeichnungen der Fig. 9 ist dann die Summe der Bau- und Betriebskosten auf allen drei Strahlen:

$$S = A_1 r + B_1 s + C_1 t,$$

oder:

(Gl. 14)
$$S = A_1 r + B_1 (r^2 + c^2 - 2rc \cos \varphi)^{\frac{1}{2}} + C_1 [r^2 + b^2 - 2rb \cos (\varepsilon - \varphi)]^{\frac{1}{2}}.$$

Fig. 9.



Die Lage des Knotenpunktes P ist in dieser Gleichung durch die beiden Veränderlichen r und φ angegeben. Um die Bedingungen für die günstigste Lage von P zu erhalten, hat man nach diesen Veränderlichen zu differentiiren.

Setzt man den Differentialquotienten nach r gleich Null, so entsteht:

$$0 = A_1 + B_1 \frac{r - c \cos \varphi}{(r^2 + c^2 - 2rc \cos \varphi)^{\frac{1}{2}}} + C_1 \frac{r - b \cos (\varepsilon - \varphi)}{[r^2 + b^2 - 2rb \cos (\varepsilon - \varphi)]^{\frac{1}{2}}}.$$

Setzt man:

$$(r^2 + c^2 - 2rc \cos \varphi)^{\frac{1}{2}} = s$$

und:

$$[r^2 + b^2 - 2rb \cos (\varepsilon - \varphi)]^{\frac{1}{2}} = t,$$

wieder sin und beachtet, dafs:

$$c \cos \varphi - r = \overline{PE}$$

und:

$$b \cos (\varepsilon - \varphi) - r = \overline{PD}$$

ist, so folgt:

$$A_1 - B_1 \cdot \frac{\overline{PE}}{r} - C_1 \frac{\overline{PD}}{t} = 0.$$

oder:

(Gl. 15) $$A_1 + B_1 \cos \gamma_1 + C_1 \cos \beta_1 = 0.$$

Eine zweite Gleichung zwischen den Kosten A_1, B_1 und C_1 und den Winkeln am Knotenpunkte α_1, β_1 und γ_1 erhält man durch Differentiation der Gleichung für S nach φ. Die Nullsetzung des Differentialquotienten giebt:

$$0 = B_1 \frac{rc \sin \varphi}{(r^2 + c^2 - 2rc \cos \varphi)^{\frac{1}{2}}} - C_1 \frac{rb \sin (\varepsilon - \varphi)}{[r^2 + b^2 - 2rb \cos (\varepsilon - \varphi)]^{\frac{1}{2}}}$$

oder:

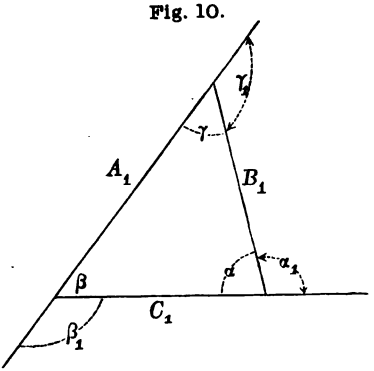
$$B_1 \frac{\overline{EB}}{s} = C_1 \frac{\overline{CD}}{t},$$

das ist:

(Gl. 16) . . . $$B_1 \sin \gamma_1 = C_1 \sin \beta_1.$$

Die beiden Beziehungen zwischen den kilometrischen Kosten und den Winkeln am Knotenpunkte, welche bei der günstigsten Lage des Knotenpunktes erfüllt sein müssen, sind dieselben, welche zwischen den Seiten eines Dreiecks und seinen Aufsenwinkeln bestehen. Bildet man daher aus

Fig. 10.



den kilometrischen Bau- und Betriebskosten A_1, B_1 und C_1 ein Dreieck (Fig. 10), so geben die Aufsenwinkel desselben die Winkel am Knotenpunkte an.

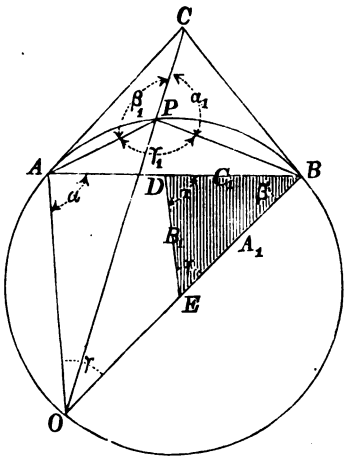
Die Bedingung für die günstigste Lage des Knotenpunktes läfst sich also ausdrücken: „Die Sinus der Winkel

am Knotenpunkte müssen sich wie die kilometrischen Bau- und Betriebskosten auf den drei Strahlen verhalten", oder auch: „Am Knotenpunkte müssen sich drei Kräfte, deren Gröfsen im Verhältnifs der kilometrischen Bau- und Betriebskosten stehen und welche in den Richtungen der drei Strahlen wirken, das Gleichgewicht halten."

Es würde also, wenn man von der Reibung absieht, die günstigste Lage des Knotenpunktes auf mechanische Weise bestimmt werden können, indem man die Lage der drei Orte A, B und C auf einer horizontalen Platte aufträgt, die Platte an diesen Punkten durchbohrt, durch die Löcher Fäden führt, welche oberhalb der Platte in einem Punkte mit einander verknüpft uud unterhalb mit Gewichten im Verhältnifs der kilometrischen Bau- und Betriebskosten belastet werden. Der Knotenpunkt würde dann durch die Wirkung der drei Gewichte in die richtige Lage gebracht werden.

Auf geometrischem Wege läfst sich die günstigste Lage des Knotenpunktes in folgender Weise bestimmen:

Fig. 11.



Man trägt (in Fig 11) an irgend einer der drei Seiten des Dreiecks ABC das Dreieck der kilometrischen Verkehrskosten BDE in der in der Figur angegebenen Weise an, bei welcher die kilometrischen Kosten den Dreieckspunkten, welchen sie entsprechen, gegenüber liegen. Man zieht dann AO

parallel DE, verlängert BE und erhält ein nach gröfserem Mafsstabe aufgetragenes Dreieck der kilometrischen Kosten ABO, in welchem die Spitze O als Pol bezeichnet werden möge. Zieht man jetzt von dem Pole O nach dem Punkte C die Linie OC, so erhält man in dem Schnittpunkte P dieser Linie mit einem dem Dreiecke ABO umschriebenen Kreise die Lage des Knotenpunktes.

Für den von C ausgehenden Verkehr ersetzt der Pol O die beiden Orte A und B der Richtung nach, so dafs dieser Verkehr die Linie CO verfolgen mufs, aber nur bis zu dem Knotenpunktskreise $APBO$, von wo ab der Verkehr sich nach A und B scheiden mufs.

Die Lage des Pols O ist aber nicht allein für die Richtung, sondern auch für die Kosten von Bedeutung. Die Gesammtkosten des Verkehrs zwischen den drei Orten A, B und C sind:

$$S = \overline{AP} \cdot A_1 + \overline{BP} \cdot B_1 + \overline{CP} \cdot C_1 .$$

Nimmt man als Einheit für die kilometrischen Kosten diejenige, nach welcher diese Kosten in dem Dreiecke ABO dargestellt sind, so kann man setzen:

$$S = \overline{AP} \cdot \overline{BO} + \overline{BP} \cdot \overline{AO} + \overline{CP} \cdot \overline{AB},$$

oder nach dem Lehrsatze des Ptolemaeus, nach welchem in einem dem Kreise eingeschriebenen Viereck die Summe der Produkte aus den gegenüberliegenden Seiten dem Produkte der Diagonalen gleich ist:

$$S = \overline{PO} \cdot \overline{AB} + \overline{CP} \cdot \overline{AB},$$

oder:

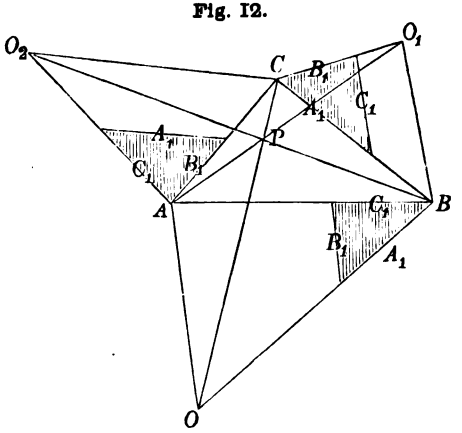
$$S = \overline{CO} \cdot \overline{AB} = \overline{CO} \cdot C_1 .$$

Die Summe der Bau- und Betriebskosten für den Verkehr zwischen den drei Orten A, B und C ist also so grofs als ob der von einem Orte ausgehende Verkehr bis zu dem Pole der beiden

anderen Orte in gerader Linie durchgeführt wurde.

Die Linien, welche von den drei Orten je nach dem Pole geführt werden, der an Stelle der beiden übrigen Orte tritt, müssen sich im Knotenpunkte P (Fig. 12)

Fig. 12.

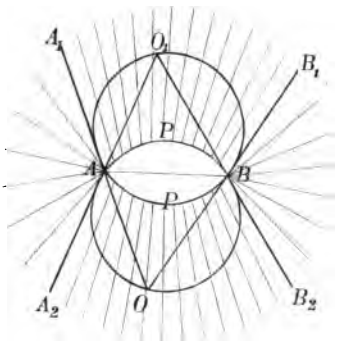


schneiden, so dafs dieser auch durch den Schnitt zweier solcher Pollinien bestimmt werden kann. Zur Bestimmung der Pole mufs das Dreieck der kilometrischen Verkehrskosten stets derart an das Dreieck der Orte angelegt werden, dafs jedem Orte diejenige Seite des Dreiecks der kilometrischen Kosten gegenüber liegt, welche dem von diesem Orte ausgehenden Verkehre entspricht, und das Dreieck der kilometrischen Kosten mufs nach solchem Mafsstabe gezeichnet werden, dafs seine mit einer Seite des Dreiecks der Orte zusammenfallende Seite die gleiche Länge mit jener hat.

So lange die kilometrischen Verkehrskosten unverändert bleiben, bleibt auch der Pol irgend zweier der drei Orte, z. B. der Pol O für die Orte A und B, unverändert in seiner Lage, wo auch der Ort C liegen möge, falls

er überhaupt nur innerhalb des Winkels AOB sich befindet, so dafs, wie in Fig. 13 dargestellt, der Verkehr von dem seiner Lage nach veränderlichen Orte C innerhalb dieser Grenzen stets auf O gerichtet sein mufs. Liegt C an der andern Seite der Linie AB, so entsteht ein symmetrisch liegender Pol O_1, auf welchen der Verkehr von allen Punkten aus gerichtet sein mufs, welche innerhalb des Winkels AO_1B liegen.

Fig. 13.



Liegt der Punkt C innerhalb des Winkels A_1AA_{11}, so entsteht kein Knotenpunkt, sondern der Verkehr geht von diesem Orte direkt nach A und von hier nach B; in ähnlicher Weise mufs sich von allen innerhalb des Winkels B_1BB_{11} liegenden Punkten der Verkehr direkt nach B und von hier nach A wenden. Auch dann, wenn der Punkt C innerhalb der beiden Kreisbogen APB liegt, entsteht kein Knotenpunkt, sondern der Verkehr geht nach der Linie ACB.

Zur Erläuterung des hier entwickelten Satzes vom Knotenpunkte möge noch ein Beispiel dienen. Besteht zwischen A und B ein Jahresverkehr von 320 000 Tonnen, zwischen A und C von 30 000 Tonnen und zwischen B und C von 10 000 Tonnen, so wird bei Anlage eines Knotenpunktes P auf dem Strahle AP ein Verkehr von 350 000 Tonnen, auf dem Strahle BP von 330 000 Tonnen und auf dem Strahle CP von 40 000 Tonnen stattfinden. Soll in der Linie APB eine Eisenbahn hergestellt werden, deren kilometrische Anlagekosten 100 000 Mark betragen, deren Unterhaltung und Bewachung jährlich

2300 Mark für den Kilometer kostet und auf welcher die Betriebskosten 0,02 Mark für den Tonnen-Kilometer betragen, so sind die kilometrischen Bau- und Betriebskosten $A_1 = 100000 . 0{,}04 + 2300 + 350000 . 0{,}02 = 13300$ Mark und $B_1 = 100000 . 0{,}04 + 2300 + 330000 . 0{,}02 = 12900$ Mark. Wird der Strahl CP als Strafse ausgebaut, deren kilometrische Anlagekosten 15000 Mark und deren kilometrische Unterhaltungskosten $150 + 0{,}03 . C$, bei einem Frachtsatze von 0,20 Mark für den Tonnen-Kilometer betragen, so ergiebt sich:

$$C_1 = 15000 . 0{,}04 + 150 + 40000 (0{,}03 + 0{,}20) = 9950.$$

Sind nun die Abstände der drei Orte $AB = 15$, $AC = 9$ und $BC = 10$ Kilometer, so ergiebt sich nach Ausführung der geometrischen Konstruktion für den Strahl AP eine Länge von 7,56, für $BP = 8{,}67$ und für $CP = 2{,}72$ Kilometer, wobei der Knotenpunkt P einen rechtwinklichen Abstand von 3,08 von der geraden Verbindungslinie AB hat.

Die gesammten Verkehrskosten auf allen drei Strahlen sind demnach:

$$\begin{aligned} 7{,}56 . 13300 &= 100548 \\ + 8{,}67 . 12900 &= 111843 \\ + 2{,}72 . 9950 &= 27064 \\ &= 239455 \text{ Mark.} \end{aligned}$$

Der Pol O hat vom Orte C einen Abstand von 24,07 Kilometer, woraus sich die Gesammt-Verkehrskosten zu $24{,}07 . 9950 = 239497$ Mark ergeben müfsten.

Beachtenswerth ist, dafs man von der auf solche Weise bestimmten günstigsten Lage des Knotenpunktes übrigens ziemlich erheblich abweichen darf, ohne dafs sich die Gesammtkosten des Verkehrs wesentlich erhöhen. Legte man z. B. den Knotenpunkt statt 3,08 Kilometer nur um 2 Kilometer entfernt von der Linie AB, so dafs die Längen der

drei Strahlen AP, BP und CP beziehungsweise 7,28, 8,25 und 3,93 Kilometer würden, dann wären die gesammten Verkehrskosten:

$$\begin{aligned} 7{,}28 \,.\, 13\,300 &= 96\,824 \\ 8{,}25 \,.\, 12\,900 &= 106\,425 \\ 3{,}93 \,.\, 9\,950 &= 39\,104 \\ &= 242\,353, \end{aligned}$$

also nur um $1^1/_4$ Prozent gröfser als für die günstigste Lage.

In den Fällen eines sehr starken Verkehrs bei billigen Baukosten kann aber selbst die günstigste Anordnung eines Knotenpunktes unvortheilhafter sein als der Bau und Betrieb auf den Dreiecksseiten, denn die Anlage eines Knotenpunktes vertheuert unter allen Umständen die Betriebskosten bei einer Ersparung an Baukosten.

Zur Erläuterung der Sache möge angenommen werden, dafs die drei Orte A, B und C in den Endpunkten eines gleichseitigen Dreiecks von der Seitenlänge 1 liegen, dafs die kilometrischen Baukosten $= A$ sind und der Verkehr zwischen je 2 dieser Orte die gleiche Menge Q beträgt. Werden die drei Seiten des Dreiecks ausgebaut, so sind die Gesammt-Verkehrskosten bei einem Zinsfufse i und einem Frachtsatze f:

$$S = 3\,(Ai + fQ).$$

Bei Anordnung eines Knotenpunktes erhalten die drei Strahlen von den Orten zum Knotenpunkte zusammen eine Länge $= 1{,}732$ und der Verkehr ist $= 2Q$ auf jedem Strahle, so dafs die Gesammt-Verkehrskosten sind:

$$S_1 = 1{,}732\,(Ai + 2fQ).$$

Die Anlage des Knotenpunktes ist also nur vortheilhaft, so lange

$$Ai > 0{,}37\,fQ$$

ist. Bei einem kilometrischen Anlagekapital von 140000 Mark,

einem Zinsfufse von 0,05 und kilometrischen Betriebskosten $f = 0{,}02$ müfste also die Verkehrsmenge Q unter 946 000 Tonnen sein, wenn die Anlage des Knotenpunktes sich rechtfertigen sollte.

Man spart freilich bei dem Ausbau der Dreiecksseiten auch die Kosten des Trennungsbahnhofes im Knotenpunkte, man erkennt aber, dafs trotzdem erst bei sehr erheblichem Verkehr der Ausbau der Dreiecksseiten statt der Anlage eines Knotenpunktes den Vorzug verdient.*)

§ 9.

Die kommerzielle Trafse.

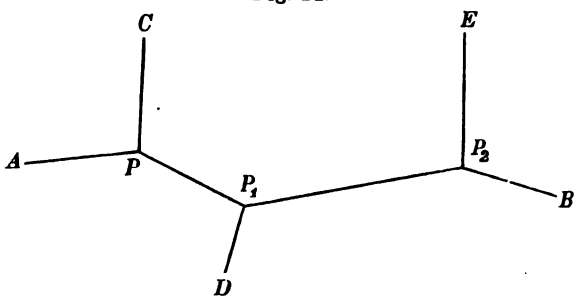
Ist zwischen zwei Endpunkten AB die Trafse eines Verkehrsweges, sei es einer Strafse, eines Kanales oder einer Eisenbahn, festzulegen, durch welche auch der Verkehr einer beliebigen Anzahl, seitlich der geraden Verbindungslinie AB belegenen Orte vermittelt werden soll, so wird die kommerzielle Trafse einen geradlinig gebrochenen Linienzug bilden, von dessen Knotenpunkten die Anschlüsse zu den seitlich gelegenen Orten ausgehen.

Für jeden einzelnen der hier entstehenden Knotenpunkte (Fig. 14) mufs dann der Satz vom Knotenpunkte erfüllt werden, so dafs also die kilometrischen Verkehrskosten auf jeder der drei in einem Knotenpunkte zusammentreffenden Linien, wenn sie im Verhältnifs ihrer Gröfse als Kräfte in den betreffenden Richtungen wirkten, sich am Knotenpunkte das Gleichgewicht halten mufsten. Hiernach ergiebt sich

*) Der Satz vom Knotenpunkte kann auch zur Bestimmung des zweckmäfsigsten Standortes einer gewerblichen Anlage benutzt werden, beispielsweise für einen Hochofen, wenn das Eisenerz in A, die Kohlen in B gewonnen werden und das Roheisen nach C zu schaffen ist. Vergl. hierüber: Launhardt, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. Jahrgang 1882.

ein einfaches Verfahren, die kommerzielle Trafse auf mechanischem Wege zu bestimmen, indem man die Orte nach ihrer gegenseitigen Lage auf einer Platte aufträgt,

Fig. 14.

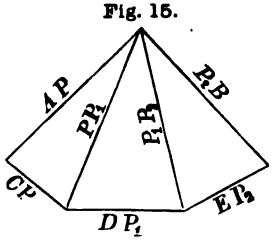


die Platte an den Punkten der Orte durchbohrt, dann einen Faden ausspannt, dessen Enden durch die den Endpunkten der Linie entsprechenden Löcher geführt und mit Gewichten belastet werden, welche den kilometrischen Verkehrskosten der Endstrecken gleichkommen, zugleich aber durch alle Löcher, welche an den Punkten der Zwischenorte sich befinden, Fäden steckt, welche an ihrem unteren Ende mit Gewichten belastet sind, die den kilometrischen Verkehrskosten der Anschlufslinien entsprechen, und mit ihrem andern Ende vermittelst eines Ringes über den von Endpunkt zu Endpunkt gespannten Faden geschoben werden. Durch die Wirkung aller einzelnen Gewichte wird die kommerzielle Trafse in den Linien der Fäden dargestellt werden.

Die geometrische Festlegung der kommerziellen Trafse geschieht in folgender Weise. Man berechnet die kilometrischen Verkehrskosten für alle Anschlufslinien und für alle Einzelstrecken der Hauptlinie von Knotenpunkt zu Knotenpunkt und trägt diese zu einem Polygon der kilometrischen Verkehrskosten (Fig. 15) zusammen, in

welcher die in einer Spitze zusammenlaufenden Strahlen die kilometrischen Kosten auf den einzelnen Theilstrecken der Hauptlinie und die Verbindungslinien der Endpunkte dieser Strahlen die kilometrischen Kosten der Anschlufslinien der Zwischenpunkte angeben. Die Winkel der einzelnen aneinander liegenden Dreiecke sind dann die Ergänzungswinkel der an den einzelnen Knotenpunkten erforderlichen Winkel.

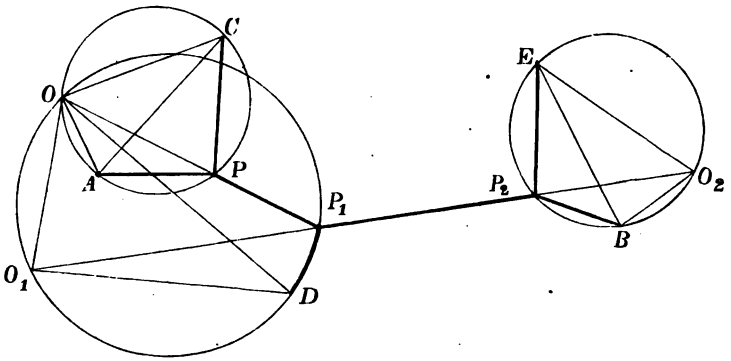
Fig. 16.



Man beginnt nun, indem man für einen Endpunkt A und den nächstliegenden Zwischenort C den Pol O bestimmt, welcher an Stelle der beiden Orte A und C tritt, so dafs die Gesammtzahl der zu berücksichtigenden Orte um einen kleiner geworden ist. Hierauf ermittelt man einen neuen Pol O_1 für den ersten Pol O und den nächsten Zwischenort D und hat dadurch von Neuem die Zahl der Orte um einen vermindert. Man fährt in solcher Weise fort, bis nur der letzte Endort und ein Pol vorhanden sind, oder was bequemer ist, man beginnt mit der Ersetzung je zweier Orte durch einen Pol von beiden Enden der Trafse aus, so dafs nach und nach für beide Enden der Trafse je ein Pol bestimmt ist. Sind dann auch zu den Polen die zugehörigen Knotenpunktskreise hergestellt, so zieht man, wie in Fig. 16, zunächst die Verbindungslinie der beiden Pole O_1 und O_2, welche in der Strecke $P_1 P_2$ zwischen den Knotenpunktskreisen ein Stück der Trafse giebt. Von P_2 zieht man nach E und B und von P_1 nach dem Pole O bis zum Knotenpunktskreise bei P, von wo man dann die Linien PC und PA zieht. Hierdurch ist die Trafse APP_1P_2B mit den Anschlufslinien PC, P_1D und P_2E dargestellt.

Handelt es sich um die Trafse einer Eisenbahn, so hat man vorher zu prüfen, welche von den Zwischenorten durch

Fig. 16.



Strafsen oder durch Zweigbahnen an die Hauptbahn angeschlossen werden sollen, da hiervon die gesammte Lage der Trafse abhängig ist.

§ 10.

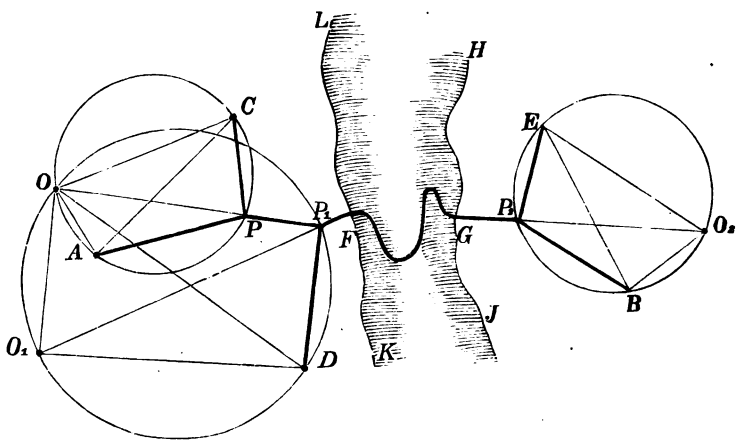
Technische Festpunkte. Entwicklungsgebiet.

Die kommerzielle Trafse wird nur selten für eine grofse Länge, also auch für eine grofse Anzahl von Zwischenorten zu suchen sein, da meistens aufser den Endpunkten noch Zwischenpunkte gegeben sind, durch welche die Trafse unter allen Umständen zu führen ist. Solche feste Zwischenpunkte können durch eine gröfsere Stadt, durch die Station einer zu kreuzenden Eisenbahn, durch einen zweckmäfsigen Flufsübergang, durch Gebirgspässe oder die Einmündung von Gebirgsthälern, welche zu solchen Pässen führen, durch das Ufer von Landseen u. s. w. gegeben sein. Die kommerzielle Trafse zerfällt durch solche fest gegebene Zwischenpunkte, welche man als technische Festpunkte bezeichnen kann, in Theilstrecken, für deren jede die Trafse für sich zu bestimmen ist.

Von besonderer Bedeutung für die Lage der kommerziellen Trafse, für welche ja ein horizontaler Baugrund vorausgesetzt wird, sind Gebirge, welche mittelst künstlicher Längenentwicklung überschritten werden müssen. Hier ist die Länge der Trafse innerhalb des Entwicklungsgebietes von der zu überschreitenden Höhe und dem zweckmäfsig zu wählenden Steigungsverhältnisse abhängig. Die kommerzielle Trafse wird in diesem Falle nur in der aufserhalb des Entwicklungsgebietes belegenen Erstreckung zu suchen und der Art festzulegen sein, dafs das Entwicklungsgebiet auf kürzestem Wege erreicht wird, also rechtwinklich gegen die Begrenzung des Entwicklungsgebiets geführt werden müssen.

Wären die fünf Orte, für welche in Fig. 16 die kommerzielle Trafse bestimmt wurde, durch ein zwischen den Orten *C* und *D* liegendes Gebirge getrennt, dessen

Fig. 17.



Entwicklungsgebiet durch die in Fig. 17 eingetragenen Linien *KFL* und *JGH* begrenzt wird, so würde die

kommerzielle Trafse von dem Pole O_1, welcher für die drei Orte A, B und C bestimmt wurde, rechtwinklich in der Linie O_1F gegen die Entwicklungsgrenze KFL geführt werden müssen. Von dem Schnittpunkte P_1 der Linie O_1F mit dem Knotenpunktskreise würde der Anschlufsweg CP_1 zu führen und in der Richtung P_1O zu gehen sein, welche bis zum Schnitt P im Knotenpunktskreise der Orte A und B verfolgt werden mufs, von wo ab eine Gabelung nach A und B vorzunehmen ist. In gleicher Weise müfste von dem Pole O_2 rechtwinklich in der Linie O_2G gegen die Entwicklungsgrenze JGH gezogen werden und die von G ausgehende Trafse in dem Schnittpunkte P_2 mit dem Knotenpunktskreise der Orte D und E nach diesen beiden Orten gegabelt werden.

Eine Vergleichung der so in Fig. 17 dargestellten kommerziellen Trafse mit der in Fig. 16 angegebenen zeigt, in welch entschiedener Weise durch das Dazwischentreten eines Gebirges die kommerzielle Trafse eine Veränderung erfahren kann.

Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, dafs die nach solchem Verfahren bestimmte kommerzielle Trafse nur selten ohne Weiteres durchführbar ist. Schon die Festlegung der Entwicklungsgrenzen für ein Gebirge läfst sich in voller Schärfe kaum vornehmen; ferner sind die erhaltenen Ausgangspunkte (F und G) für die Entwicklung nicht immer zweckmäfsig. Man wird also nach Ausführung dieser Konstruktion zu untersuchen haben, in welchem Mafse aus technischen Gründen sich eine Verschiebung der gefundenen Ausgangspunkte (F und G) der Entwicklung empfiehlt und darauf den in solcher Weise verschobenen Entwicklungs-Endpunkt als technischen Festpunkt anzusehen haben, auf welchem von dem Pole, welcher an Stelle aller zu einer

Seite des Entwicklungsgebietes belegenen Orte tritt, die Trafse zu führen ist.

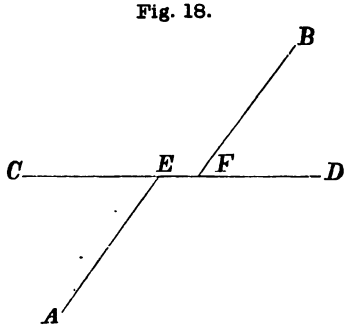
Auch beim Anschluss an die Meeresküste oder an das Ufer eines Binnensees, an welchem ein Ueberladen in Schiffe oder Fähren stattfindet, ist für alle in Betracht kommenden Orte der Pol zu bestimmen und die kommerzielle Trafse von diesem Pole rechtwinklich auf die Uferlinie zuzuführen, Es mufs dann untersucht werden, ob der gefundene Küstenpunkt als Hafen zweckmäfsig benutzbar ist oder ob ein in der Nähe befindlicher anderer Punkt sich besser dazu eignet, auf welchen dann die Pollinie der Trafse zu richten ist.

§ 11.

Kreuzung.

Ist zwischen zwei Orten A und B, von denen jeder auch der Pol für eine gröfsere Anzahl von Orten sein kann, die Trafse kreuzend über einen bereits vorhandenen Verkehrsweg CD zu führen, so ist die kommerzielle Trafse nach dem in § 7 angegebenen Satze vom Anschlusse von A nach E und von B nach F zu führen, so dafs das Stück EF des bereits vorhandenen Verkehrsweges als Theil der zu bestimmenden Trafse benutzt wird.

Fig. 18.



Ist der Verkehrsweg CD eine Strafse, so ist die kommerzielle Trafse hierdurch endgültig festgelegt. Ist aber die Linie CD eine Eisenbahn, so wird nur in seltenen Fällen die Errichtung neuer Stationen in den Anschlufspunkten E und F in Frage kommen, sondern in den meisten

Fällen der Anschluſs an die zunächst belegene bereits vorhandene Station bewirkt werden oder selbst die Vereinigung der beiden Anschluſspunkte E und F in einem einzigen Kreuzungspunkt den Vorzug verdienen.

Die zweckmäſsigste Lage dieses Kreuzungspunktes läſst sich durch wiederholte, versuchsweise vorgenommene Konstruktionen bestimmen. Zu dem Zweck sind die auf der Strecke EF entstehenden kilometrischen Verkehrskosten gröſser in Ansatz zu stellen, als sie in Wirklichkeit sind, was zur Folge hat, daſs die Anschluſspunkte E und F einander näher rücken. Mit der willkührlich angenommenen Vergröſserung der kilometrischen Verkehrskosten wird dann so lange fortgefahren, bis die beiden Anschluſspunkte in einem Kreuzungspunkt zusammenfallen.

Auf mechanischem Wege könnte man diesen Kreuzungspunkt bestimmen, indem man die Punkte A und B auf einer Platte auftrüge, die Platte an diesen Punkten durchbohrte, die Linie CD durch einen Draht festlegte, auf welchem sich ein Ring verschieben läſst und nun an diesen Ring vier Fäden befestigt, welche durch die Löcher A, B, C und D geführt und mit Gewichten belastet werden, die den kilometrischen Verkehrskosten entsprechen.

Die Aufgabe der Bestimmung eines Kreuzungspunktes kann aber auch noch in der Form vorkommen, daſs verlangt wird, die kommerzielle Traſse zwischen vier Orten A, B, C und D, zwischen welchen noch gar keine Verbindung hergestellt ist, auf einen einzigen Kreuzungspunkt K von allen vier Orten zusammen zu führen. Auf mechanischem Wege ergiebt sich die Lösung wieder sehr einfach durch Zusammenknüpfung von vier Fäden in einen Knotenpunkt und Belastung dieser vier Fäden an Stelle

der vier Orte mit den entsprechenden kilometrischen Verkehrskosten auf den vier Strahlen.

Auf dem Wege der Konstruktion kann man den Kreuzungspunkt nur durch wiederholte Versuche festlegen, indem man zunächst die kommerzielle Trafse mit den beiden Knotenpunkten E und F bestimmt und dann die Konstruktion wiederholt unter willkührlicher Vergröfserung der kilometrischen Verkehrskosten auf der Verbindungslinie EF, was ein Näherrücken dieser Knotenpunkte zur Folge hat. Mit solcher versuchsweisen Konstruktion ist unter allmählicher Vergröfserung der für die Verbindungslinie EF anzusetzenden kilometrischen Verkehrskosten fortzufahren, bis die beiden Knotenpunkte E und F in einen einzigen Kreuzungspunkt zusammenfallen.

§ 12.

Normalbetriebsjahr und Normalbetriebskosten.

Das angegebene Verfahren der Bestimmung der kommerziellen Trafse stützt sich auf die Ermittlung der kilometrischen Verkehrskosten, welche sich aus den Zinsen des Anlagekapitals und den jährlichen Unterhaltungs- und Betriebskosten zusammensetzen. Mit einem befriedigenden Grade von Sicherheit werden sich hierbei die Anlagekosten feststellen lassen, allenfalls auch noch die Unterhaltungskosten, allein bei den Betriebskosten ist man auf eine Schätzung des zu erwartenden Verkehrs angewiesen, für welche eine zutreffende Grundlage weit schwieriger zu finden ist. Es kommt hinzu, dafs der Verkehr kein für alle Zeiten gleich bleibender ist, sondern abgesehen von vorübergehenden Schwankungen und Störungen im Allgemeinen allmählich zunehmen wird. Man mufs bei der Bestimmung der Trafse, welche nach menschlicher Anschauung auf ewige Dauer festgelegt wird, auf diese all-

mähliche Zunahme des Verkehrs und also auf eine allmähliche Zunahme der Unterhaltungs- und Betriebskosten rechnen, welche übrigens auch schon durch die wahrscheinliche Erhöhung der Preise sich vollziehen wird. Man darf weder die Betriebskosten der ersten Jahre noch die in ferner Zukunft eintretenden in Rechnung stellen, sondern mufs ein Normalbetriebsjahr und die in diesem eintretenden Normalbetriebskosten ermitteln, welche bei einer von Anfang bis in alle Ewigkeit unveränderlich bleibenden Höhe als gleichwerthig mit den in Wirklichkeit veränderlichen Betriebskosten in Rechnung zu stellen sind. Dafs es sich auch hierbei nur um eine Schätzung handeln kann, ist begreiflich, da ja das Gesetz der Verkehrszunahme nicht bekannt ist. Allein schon durch die Feststellung des Begriffs des Normalbetriebsjahres und der Normalbetriebskosten wird für die sonst ganz unsichere Schätzung ein besserer Anhalt gewonnen, wie dies die folgende Rechnung näher zeigen wird.

Sind die Unterhaltungs- und Betriebskosten im ersten Jahre B, im zweiten B_1, im dritten B_{11} u. s. w., so berechnet sich, da die Betriebskosten des ersten Jahres aus dem Neubaukapital bestritten werden, ein Grundkapital, von dessen Zinsen und Zinseszinsen diese Betriebskosten für alle Zeit bestritten werden können zu:

$$S = \frac{B_1}{1+i} + \frac{B_{11}}{(1+i)^2} + \frac{B_{111}}{(1+i)^3} + \cdots$$

Wären die Betriebskosten alljährlich unveränderlich $= B$, so entstände für das Grundkapital:

$$S_0 = B\left(\frac{1}{1+i} + \frac{1}{(1+i)^2} + \frac{1}{(1+i)^3} + \cdots\right),$$

also:

$$S_0 = \frac{B}{i}.$$

Falls aber beispielsweise die Betriebskosten alljährlich um einen konstanten Betrag b wachsen würden, dann wäre:

$$S = \frac{B_0 + b}{1 + i} + \frac{B_0 + 2b}{(1 + i)^2} + \frac{B_0 + 3b}{(1 + i)^3} + \ldots,$$

also:

$$S = \frac{B_0}{i} + \frac{b}{i^2}.$$

Setzt man dieses Grundkapital gleich demjenigen, welches für unveränderliche Betriebskosten B erhalten wurde, also:

$$\frac{B}{i} = \frac{B_0}{i} + \frac{b}{i^2},$$

so erhält man die Normalbetriebskosten zu:

(Gl. 17) . . . . $B = B_0 + \frac{b}{i}$,

welche in dem Normalbetriebsjahre:

(Gl. 18) . . . . . $n = 1 + \frac{1}{i}$

in Wirklichkeit eintreten. Bei Zugrundelegung eines Zinsfufses von 5 Prozent wäre also das 21. Jahr das Normalbetriebsjahr, bei einem Zinsfufse von 4 Prozent das 26. Jahr.

Nähmen aber die Betriebskosten alljährlich um einen gleichbleibenden Prozentsatz $(1 + a)$ zu, so wäre das Grundkapital für die Betriebskosten:

$$S = B_0 \left[\frac{1 + a}{1 + i} + \left(\frac{1 + a}{1 + i}\right)^2 + \left(\frac{1 + a}{1 + i}\right)^3 + \ldots,\right.$$

also:

$$S = B_0 \frac{1 + a}{i - a}.$$

Setzt man dieses Grundkapital demjenigen gleich, welches für gleichbleibende Betriebskosten B_0 entsteht, so folgt:

$$\frac{B}{i} = B_0 \frac{1 + a}{i - a},$$

woraus sich die Normalbetriebskosten ergeben zu:

(Gl. 19) . . . . $B = \frac{i(1+a)}{i-a} B_0$.

Setzt man diese Normalbetriebskosten gleich den im $n$ten Jahre eintretenden Betriebskosten, also:

$$B_0 (1+a)^{n-1} = B_0 \frac{i(1+a)}{i-a},$$

oder:

$$(1+a)^{n-2} = \frac{i}{i-a},$$

so findet man das Normalbetriebsjahr heraus zu:

(Gl. 20) $$n = 2 + \frac{lg\, i - lg\,(i-a)}{lg\,(1+a)}.$$

Nimmt man den zu Grunde zu legenden Zinsfuſs $i = 0{,}05$, so findet man für $a = 0{,}01$ das 24. Jahr als Normalbetriebsjahr, für $a = 0{,}02$ das 28. Jahr, für $a = 0{,}03$ das 33. Jahr u. s. w.

Offenbar ist die zuletzt gemachte Annahme, nach welcher die Betriebskosten von Jahr zu Jahr um einen bestimmten Prozentsatz wachsen, wahrscheinlicher als die zuerst gemachte, nach welcher die jährliche Steigerung der Betriebskosten eine gleichbleibende Gröfse hat. Allein eine Ermittlung der Gesetzmäfsigkeit der Zunahme der Betriebskosten, welche von der Gröfse des Verkehrs und von der Höhe der Preise abhängt, ist überhaupt nicht möglich. Es beschränkt sich daher der Werth der vorstehenden Rechnungen auf die Darlegung der Thatsache, dafs man bei der Trafsirung weder die Betriebskosten in den ersten Jahren noch die in sehr ferner Zeit zu erwartenden Betriebskosten zu Grunde legen darf. Man wird annehmen können, dafs etwa im 20. bis 30. Betriebsjahre die Normalbetriebskosten eintreten. Zu der Unsicherheit der Schätzung kommt aber noch hinzu, dafs man auch nicht auf einen unveränderlich

bleibenden Zinsfufs rechnen kann. Aber Unsicherheiten solcher Art haften eben allen wirthschaftlichen Erwägungen an, bei welchen die Verhältnisse der Zukunft in Rechnung gezogen werden müssen.

§ 13.

Die Frachtsätze auf den Eisenbahnen.

Bei den Aufgaben des Trafsirens sind stets die Selbstkosten des Betriebes, nicht aber die von diesen abweichenden, für den Transport zu bezahlenden Frachtkosten in Ansatz zu bringen. Aber die Frachtkosten bleiben doch immer abhängig von der Höhe der Betriebskosten und also auch von der Beschaffenheit der Trafse.

Bei der Fortschaffung der Güter auf Land- und Wasserstrafsen, welche Jedermann für den Verkehr offen stehen, wird durch den Wettbewerb der Unternehmer der Frachtsatz bis auf einen, die Betriebskosten nur wenig überschreitenden Betrag herabgedrückt, bei welchem der schwächste der Unternehmer noch genügenden Anreiz zur Weiterführung des Betriebes findet. Auf den Eisenbahnen ist diese Regelung des Frachtsatzes ausgeschlossen, da jede Linie nur durch einen einzigen Unternehmer betrieben werden kann. Wenn auch bei der erreichten Ausbildung des Eisenbahnnetzes für die Versendung auf gröfsere Entfernungen verschiedene Wege benutzt werden können, so wird doch, selbst wenn die zur Auswahl stehenden Linien verschiedenen Unternehmern gehören, ein Wettbewerb zwischen den stets nur wenigen Unternehmern durch Vereinbarungen zum Abschlufs gebracht werden. Die Unternehmer, welche zu einem Wettbewerbe geführt werden könnten, bringen sich durch solche Vereinbarungen in die Lage, den Betrieb ihrer Unternehmung als Monopol aus-

nutzen zu können. Der unter solchen Verhältnissen für den Unternehmer günstigste Frachtsatz läfst sich in folgender Weise ermitteln.

Ein Gut, welches zu einem Preise p erzeugt wird und zum Marktpreise m verkauft werden kann, hat einen Versendungswerth $v = m - p$. Die äufserste Versendungsweite dieses Gutes beträgt also bei einem Frachtsatze f für die Längen- und Gewichtseinheit (Tonnen-Kilometer):

$$r = \frac{v}{f}.$$

Ein Verbrauchsort kann also mit diesem Gute aus einem Marktgebiete von der Gröfse $\pi r^2 = \frac{\pi v^2}{f^2}$ und, wenn auf der Flächeneinheit des Marktgebietes γ Gütereinheiten erzeugt werden, mit einer Gütermenge $\gamma\pi \frac{v^2}{f^2}$ versorgt werden. Die Anzahl der hierbei zurückzulegenden Tonnen-Kilometer ist:

(Gl. 21) $$V = 2\gamma\pi \int_0^r x^2\, dx = \frac{2}{3}\gamma\pi r^3.$$

Wird der Betrieb mit einem Kostenaufwande von f_0 für den Tonnen-Kilometer bestritten, so wird bei Erhebung eines Frachtsatzes f also für dieses Gut ein Betriebsüberschufs $U = (f - f_0)V$ erzielt oder nach Einsetzung der Ausdrücke für V und r:

(Gl. 22) $$U = \frac{2}{3}\gamma\pi v^3 \frac{f - f_0}{f^3}.$$

Man erkennt leicht, dafs dieser Betriebsüberschufs sein gröfstes Mafs für $f = 1\frac{1}{2} f_0$ und zwar zu:

(Gl. 23) $$U_1 = \frac{8}{81} \frac{\gamma\pi v^3}{f_0^2}$$

erreicht, oder wenn zur Abkürzung

$$\frac{\gamma\pi v^3}{f_0^2} = W$$

gesetzt wird, so ist der gröfste Betriebsüberschufs:

(Gl. 24) . . . . $U_1 = \frac{8}{81} W.$

Nimmt man statt eines Versorgungsgebietes, aus welchem ein Gut einem Marktorte zugeführt wird, einen Erzeugungsort an, von welchem die Vertheilung eines Gutes über ein Absatzgebiet stattfindet, so kommt man zu dem gleichen Ergebnifs, dafs bei der Versendung der gröfste Betriebsüberschufs erreicht wird, wenn $f = 1\frac{1}{2} f_0$ genommen wird.

Der durch diese einfache Rechnung gefundene wichtige Satz lautet also: Für Güter, deren Versendungsweite keine andere Einschränkung als durch die Frachtkosten findet, wird der höchste Betriebsüberschufs erreicht, wenn der Frachtsatz gleich dem $1\frac{1}{2}$fachen Betrage der Betriebskosten gesetzt wird.

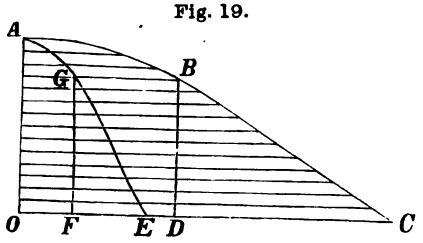
Es ist also für die Betriebsunternehmung vortheilhaft, von der äufsersten Versendungsweite $\frac{v}{f_0}$, welche möglich sein würde, wenn der Frachtsatz zu den Betriebsselbstkosten festgestellt würde, durch Erhöhung des Frachtsatzes auf $1\frac{1}{2} f_0$ nur zwei Drittel auszunutzen.

Die Betriebskosten sind hierbei unter Ausschlufs der Zinsen des Anlagekapitals, so weit dieses unabhängig von der Gröfse des Verkehrs ist, zu bestimmen.

In der vorstehenden Rechnung ist eine für die ganze Ausdehnung des Verkehrsgebietes gleiche Verkehrsdichtigkeit γ angenommen, während in Wirklichkeit diese Verkehrsdichtigkeit in der Regel mit zunehmender Versendungsweite des Gutes abnehmen mufs. Allein dieser Umstand beeinträchtigt die Richtigkeit des gefundenen Satzes nicht

im Mindesten. Zum Beweise sind in Fig. 19 die Versendungsweiten auf der Abcissenachse gezählt und die irgend einem Frachtsatze f entsprechenden Verkehrsdichtigkeiten als Ordinaten aufgetragen, deren obere Endpunkte durch die Kurve AGE begrenzt werden, derart

Fig. 19.



dafs einer Versendungsweite $x = OF$ und dementsprechend einem Preise $p + fx$ die Verkehrsdichtigkeit $\gamma = FG$ entspricht. Wird der Frachtsatz vermindert, so dehnt sich das Versendungsgebiet aus; derselbe Preis, welcher früher im Abstande OF stattfand, tritt erst im Abstande OD ein und daher wird auch die Verkehrsdichtigkeit $\gamma = FG$ jetzt erst in diesem erweiterten Abstande OD auf das gleiche Mafs $\gamma = DB$ sich stellen. Gleiche Ordinaten der Kurven AGE und ABC, welche die Verkehrsdichtigkeiten für verschiedene Frachtsätze darstellen, gehören zu Abcissen, welche sich umgekehrt wie die Frachtsätze verhalten. Man kann daher statt des einen Gutes mit der veränderlichen Verkehrsdichtigkeit γ eine grofse Anzahl verschiedener Güter mit gleichbleibender Verkehrsdichtigkeit $d\gamma$, aber mit verschiedenen Versendungswerthen annehmen, wie dies durch die Horizontallinien in Fig. 19 dargestellt ist. Für jedes einzelne von diesen vielen Gütern gilt dann, da sie gleichbleibende Verkehrsdichtigkeit haben, der entwickelte Satz, dafs bei Feststellung des Frachtsatzes auf den

$1^1/_2$ fachen Betrag der Betriebskosten der höchste Betriebs-Ueberschufs erzielt wird, mithin gilt dieser Satz auch für die Summe aller dieser Güter, welche als ein einziges Gut mit veränderlicher Verkehrsdichtigkeit erscheint.

Da aber in allen vom Marktorte ausgehenden Richtungen die Wegsamkeit nicht die gleiche ist, also die Betriebskosten und daher die Frachtsätze nicht die gleichen sind, so wird auch die von den Frachtkosten abhängige Verkehrsdichtigkeit in allen Punkten, welche gleichen Abstand vom Marktorte haben, nicht die gleiche sein. Aber auch dieser Umstand beeinträchtigt die allgemeine Gültigkeit des gefundenen Satzes nicht, da die Rechnung zu dem gleichen Ergebnisse führt, wenn sie auf einen beliebigen Kreisausschnitt statt auf die ganze Kreisfläche bezogen wird.

Die Richtigkeit des Satzes, dafs der gröfste Betriebsüberschufs bei Feststellung des Frachtsatzes auf den $1^1/_2$ fachen Betrag der Betriebskosten erzielt wird, ist aber an die Voraussetzung gebunden, dafs die äufserste Versendungsweite des Gutes nicht über die Grenzen des Bahnnetzes der eigenen Verwaltung hinausgeht.

Dehnte sich das Bahnnetz eines Unternehmers nicht bis zur äufsersten Versendungsweite r, sondern nur bis zu einer Entfernung r_1 aus, so würde der Betriebsüberschufs bei einem Frachtsatze f sein:

$$U = 2\gamma\pi\,(f - f_0)\left(\int_0^{r_1} x^2\,dx + r_1\int_{r_1}^{r} x\,dx\right),$$

mithin:

(Gl. 25) $$U = \gamma\pi\,(f - f_0)\left(r^2 r_1 - \frac{1}{3}\,r_1^3\right).$$

Setzt man hierin $r = \frac{v}{f}$ und differentiirt nach f, so erhält man für den günstigsten Frachtsatz die Bedingung:

$$f^3 + 3\left(\frac{v}{r_1}\right)^2 f - 6\left(\frac{v}{r_1}\right)^2 f_0 = 0.$$

Da die äufserste Versendungsweite $r = \frac{v}{f}$, also $v = rf$ ist, so folgt nach Einsetzung dieses Werthes:

(Gl 26) . . . . $$f = \frac{6}{3 + \left(\frac{r_1}{r}\right)^2 f_0}.$$

Die äufserste Versendungsweite r_1 auf dem eigenen Bahnnetze kann zwischen 0 und r betragen, so dafs der günstigste Frachtsatz zwischen $f = 2f_0$ und $f = 1\frac{1}{2}f_0$ liegt, je nachdem das Eigenthum der Betriebsunternehmung sich über ein kleines oder grofses Bahnnetz erstreckt.

Es ist die hierdurch bewiesene Thatsache, dafs gröfsere Bahnverwaltungen in ihrem eigenen Vortheile billigere Frachtsätze stellen müssen als kleinere Bahnunternehmungen von bemerkenswerther Bedeutung für die Beurtheilung der Frage der Privat- oder Staatsbahnen.

Von weiterem Interesse für diese Frage ist auch die Betrachtung der günstigsten Frachtsätze für Zweigbahnen.

Für den einfachsten Fall, dafs die Zweigbahn nur eine einzige Station hat, so dafs also alle Güter die ganze Länge derselben durchlaufen, ist bei einer Länge z und einem Frachtsatze f_{11} der Zweigbahn von dem Versendungswerthe v der Güter bei Erreichung der Hauptbahn noch ein Rest $v - f_{11}z$ für die weitere Versendung auf dem Hauptbahnnetze verfügbar.

Die auf das Hauptbahnnetz übergehende Gütermenge ist daher:

$$Q = \pi\gamma\left(\frac{v - f_{11}z}{f}\right)^2,$$

wenn auf dem Hauptbahnnetze der Frachtsatz f erhoben wird. Für die Einheit dieser Verkehrswege wird auf der Zweigbahn ein Betriebsüberschufs $(f_{11} - f_0)z$ erzielt, so dafs der gesammte Betriebsüberschufs der Zweigbahn für dieses Gut beträgt:

$$U = Q(f_{11} - f_0)z,$$

oder:

(Gl. 27) $$U = \frac{\gamma \pi z}{f^2}(f_{11} - f_0)(v - f_{11}z)^2,$$

welcher sein höchstes Mafs erreicht für:

(Gl. 28) . . . $$f_{11} = \frac{2}{3}f_0 + \frac{1}{3}\frac{v}{z}.$$

Die für die ganze Länge der Zweigbahn zu erhebende Fracht sollte also sein:

$$f_{11}z = \frac{2}{3}f_0 z + \frac{1}{3}v.$$

Man wird eine so hohe Fracht, welche mehr als $^1/_3$ des Versendungswerthes der Güter beträgt, aber schon deshalb nicht erheben können, weil sie in der Regel theurer als die Landstrafsenfracht ausfallen wird.

Wird die Zweigbahn aber nicht für eigene gesonderte Rechnung, sondern gemeinsam mit dem Hauptbahnnetze betrieben, so ist es vortheilhaft für die Unternehmung, einen grofsen Verkehr von der Zweigbahn auf das Hauptbahnnetz hinüber zu ziehen.

Die dem Hauptbahnnetz von der Zweigbahn zugehende Verkehrsmenge in Tonnen-Kilometern ist:

$$V = 2\gamma\pi\int_0^r x^2\,dx = \frac{2}{3}\gamma\pi r^3,$$

wobei $r = \frac{v - f_{11}z}{f}$ ist. Fügt man den aus diesem Verkehre erwachsenden Betriebsüberschufs zu dem auf der Zweigbahn erzielten Betriebsüberschusse, so erhält man:

(Gl. 29)

$$U = \frac{\gamma \pi z}{f^2}(f_{11} - f_0)(v - f_{11}z)^2 + \frac{2}{3}\frac{\gamma \pi}{f^3}(f - f_0)(v - f_{11}z)^3.$$

Durch Differentiation nach f_{11} erfährt man, dafs dieser Betriebsüberschufs am gröfsten wird für:

(Gl. 30)
$$f_{11} = \frac{2f_0 v - fv + 2ff_0 z}{(f + 2f_0)z},$$

woraus man für $f = \frac{3}{2} f_0$ erhält:

(Gl. 31)
$$f_{11} = \frac{6}{7} f_0 + \frac{1}{7}\frac{v}{z}.$$

Eine Vergleichung mit dem Frachtsatze (Gl. 28), welcher für eine auf gesonderte Rechnung betriebene Zweigbahn als der günstigste gefunden wurde, zeigt das bemerkenswerthe Ergebnifs, dafs die Frachtsätze für eine Zweigbahn, welche auf Rechnung des Eigenthümers des Hauptbahnnetzes betrieben wird, niedriger bemessen werden müssen, als für eine auf eigene gesonderte Rechnung betriebene Zweigbahn.

Der Eigenthümer eines grofsen Bahnnetzes kann Zweigbahnen, welche bei einem Betriebe auf gesonderte Rechnung keine genügende Rente abwerfen würden, häufig mit Vortheil bauen, weil sie dem Hauptbahnnetze neue Verkehrsmengen zuführen. Es wird daher der Ausbau von Zweigbahnen und die Verdichtung des Bahnnetzes durch die Zusammenfassung des Gesammtnetzes unter eine einzige Verwaltung, wie solche bei Staatseisenbahnen besteht, wesentlich gefördert.

Schliefslich ist noch der Fall in Betrachtung zu ziehen, wo das Absatzgebiet eines Gutes eine Einschränkung durch den Wettbewerb benachbarter Erzeugungsorte erfährt, wie z. B. das Absatzgebiet der westfälischen Kohle durch die Saarkohle; oder auch der Fall, wo das Bezugsgebiet eines

Bodenerzeugnisses durch den Wettbewerb benachbarter Verbrauchsorte eingeschränkt wird. In diesen Fällen wird eine allgemeine Erniedrigung der Frachtsätze die Gröfse der Verkehrsgebiete nur unwesentlich ändern und die Verkehrsmenge an Tonnen-Kilometern nur so weit vergröfsern, als durch die Erniedrigung des Güterpreises eine vermehrte Nachfrage und mithin eine gröfsere Verkehrsdichtigkeit entsteht. Eine Berechnung des vortheilhaftesten Frachtsatzes, durch welchen der höchste Betriebsüberschufs erzielt wird, ist in solchen Fällen nur möglich, wenn man das Gesetz der Abhängigkeit zwischen Güterpreis und Verkehrsdichtigkeit kennt. Nimmt man dieses Gesetz, welches sich zutreffend nicht leicht wird ermitteln lassen, willkührlich zu:

(Gl. 32) . . . . $\gamma = \gamma_0 (v - fx)$

an, so ist für ein Marktgebiet von unveränderlichem Halbmesser r_0 der Betriebsüberschufs:

$$U = 2\pi\gamma_0 (f - f_0) \int_0^{r_0} (v - fx)\, x^2 dx,$$

also:

(Gl. 33) $$U = \pi\gamma_0 r_0^3 (f - f_0) \left(\frac{2}{3} v - \frac{1}{2} f r_0\right).$$

Dieser wird am gröfsten, wenn der Frachtsatz zu:

(Gl. 34) . . . . $$f = \frac{1}{2} f_0 + \frac{2}{3} \frac{v}{r_0}$$

bemessen wird. Je kleiner also das Marktgebiet ist, je höher mufs der Frachtsatz gewählt werden. Einem Frachtsatze $f = 1\,1/2\, f_0$ würde ein Marktgebiet vom Halbmesser $r_0 = \frac{2}{3} \frac{v}{f_0}$ entsprechen; es würde also eine Gröfse haben, welche man mit Rücksicht auf Erreichung des höchsten Betriebsüberschusses auch dann nicht überschreiten würde, wenn eine Einschränkung durch benachbarte Marktorte nicht vorhanden wäre.

Wenn auch das Gesetz der Abhängigkeit der Verkehrsdichtigkeit von dem Güterpreise willkührlich gewählt wurde, so zeigt die Rechnung doch, dafs in Verkehrsgebieten, welche durch benachbarte Marktorte eingeschränkt sind, der Frachtsatz stets gröfser als $1^1/_2\, f_0$ gewählt werden mufs, um den höchsten Betriebsüberschufs zu erreichen.

§ 14.

Differentialtarife und Abfertigungsgebühr.

Die angestellten Betrachtungen und Rechnungen zeigen, dafs der günstigste Frachtsatz, durch welchen der höchste Betriebsüberschufs erzielt wird, bei vollständig uneingeschränktem Verkehrsgebiete auf $1^1/_2\, f_0$ bemessen werden mufs, in allen anderen Fällen, also bei beschränkter Ausdehnung des unter eigener Verwaltung stehenden Bahnnetzes oder bei Einschränkung des Verkehrsgebietes durch benachbarte Marktorte oder für Zweigbahnen, gröfser als $1^1/_2\, f_0$ gewählt werden mufs.

Von der äufsersten Versendungsweite, welche bei Verzicht auf jeden Gewinn durch Erhebung der Betriebskosten als Fracht erreicht werden könnte, würden also im günstigsten Falle nur zwei Drittel ausgenutzt. Es liegt nun nahe, den Verkehr über diese Grenze hinaus noch auszudehnen, indem man für die hierüber hinausgehenden Entfernungen den Frachtsatz etwas ermäfsigt. Diese Überlegung führt, neben anderen hier nicht zu erörternden Gründen, zu den sogenannten Differentialtarifen.

Weicht man von dem Grundsatze ab, die Fracht in gleichem Verhältnifs mit der kilometrischen Entfernung wachsen zu lassen, so könnte in Frage kommen, die Fracht in Form einer Gebühr ganz unabhängig von der Entfernung zu erheben, wie dies beim Briefporto geschieht. Ein

Eingehen auf diesen Gedanken erscheint aber wohl nicht nöthig.

Bei einem folgerichtig durchgeführten Differentialtarife würde die Fracht für eine Entfernung x nach der Gleichung $fx - f_1 x^2$ bemessen werden können. Der Betriebsüberschufs ergiebt sich dann zu:

(Gl. 35) $$U = 2\gamma\pi \int_0^r (f - f_0 - f_1 x)\, x^2 dx,$$

mithin zu:

$$U = \gamma\pi r^3 \left(\frac{2}{3}(f - f_0) - \frac{1}{2} f_1 r\right).$$

Bei der äufsersten Versendungsweite r ist die Fracht $= fr - f_1 r^2$ und soll für diese Grenze gleich den Selbstkosten des Betriebes $f_0 r$ sein, so dafs die Gleichung

$$f_0 r = fr - f_1 r^2$$

bestehen mufs, aus welcher man erhält:

$$r = \frac{f - f_0}{f_1}.$$

Setzt man diesen Werth für r innerhalb der Klammern ein, so erhält man:

$$U = \frac{1}{6}\gamma\pi r^3 (f - f_0).$$

Da in diesem Ausdruck alle Gröfsen mit Ausnahme von f unveränderlich sind, so wird der Betriebsüberschufs um so gröfser, je gröfser f wird. Da aber die höchste Fracht erst für die äufserste Versendungsweite $r = \frac{f - f_0}{f_1}$ eintreten darf, so kann die Gröfse $x_1 = \frac{f}{2f_1}$, für welche die Fracht $fx - f_1 x^2$ ihr Maximum erreicht, auch höchstens $= r$ sein, so dafs man die Gleichung $x_1 = \frac{f}{2f_1} = r = \frac{f - f_0}{f_1}$ erhält, woraus $f = 2f_0$ als der gröfste Werth sich ergiebt, den f annehmen kann.

Ist $f = 2f_0$, so mufs $f_1 = \frac{f_0^2}{v}$ sein, so dafs die Gleichung für die Fracht:

(Gl. 36) . . . . $2f_0 x - \frac{f_0^2}{v} x^2$

wird.

Der Betriebsüberschufs für das ganze Verkehrsgebiet wird hiernach:

$$U_1 = 2\gamma\pi \int_0^{\frac{v}{f_0}} \left(2f_0 - \frac{f_0^2}{v} x - f_0\right) x^2 dx,$$

mithin:

$$U_1 = \frac{1}{6} \frac{\gamma\pi v^3}{f_0^2},$$

oder:

(Gl. 37) $U_1 = \frac{1}{6} W.$

Eine Vergleichung mit dem durch Gleichung 24 ermittelten Betriebsüberschusse, welcher bei dem für alle Entfernungen gleichbleibenden Frachtsatze $f = 1\frac{1}{2} f_0$ erzielt wird, zeigt, dafs die Anwendung des in Betrachtung gezogenen parabolischen Differentialtarifs einen $1\frac{11}{16}$fach gröfseren Betriebsüberschufs liefert.

Wenngleich hierdurch für die kleineren Entfernungen die Güternachfrage etwas verringert und in Folge dessen der Betriebsüberschufs nicht ganz die berechnete Höhe erreichen wird, so zeigt die Rechnung doch in so entschiedener Weise die Vortheile eines mit wachsender Transportweite abnehmenden kilometrischen Frachtsatzes, dafs die Einführung einer solchen Frachtsatzbildung in ernsteste Erwägung gezogen werden sollte.

Würde für die mit wachsendem Preise abnehmende Verkehrsdichtigkeit nach Gleichung 32 das Gesetz

$$\gamma = \gamma_0 (v - fx) = \gamma_0 \left(v - 2f_0 x + \frac{f_0^2}{v} x^2\right)$$

zu Grunde gelegt, so würde der Betriebsüberschufs für die ganze Ausdehnung des Verkehrsgebietes sein:

$$U_1 = 2\pi\gamma_0 \int_0^{\frac{v}{f_0}} \left(v - 2f_0 x + \frac{f_0^2}{v} x^2\right)\left(f_0 - \frac{f_0^2}{v} x\right) x\,dx,$$

also:

$$U_1 = \frac{1}{30} \frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^2},$$

mithin, wenn man zur Abkürzung $\frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^2} = W_1$ setzt:

(Gl. 38) . . . . . $U_1 = \frac{1}{30} W_1$.

Bei allen Untersuchungen über den vortheilhaftesten Frachtsatz ist bis jetzt stillschweigend angenommen worden, dafs die Kosten für Aufnahme und Abgabe des Verkehrs neben dem kilometrischen Frachtsatze in Form einer Abfertigungsgebühr (Expeditionsgebühr) erhoben werden. Es bleibt nun noch zu untersuchen, ob es nicht zweckmäfsig sein sollte, die Abfertigungsgebühr nicht genau gleich den für die Aufnahme und Abgabe des Verkehrs aufzuwendenden Kosten, sondern in einem anderen, sei es niedrigeren oder höheren Betrage festzustellen.

Bei dieser Untersuchung darf man den Einfluſs der Höhe der Frachtkosten auf die Verkehrsdichtigkeit nicht aufser Betracht lassen, weil sonst ohne Weiteres die Erhebung einer Abfertigungsgebühr zum ganzen Betrage des Versendungswerthes des Gutes und Ansetzung des kilometrischen Frachtsatzes zu Null als am vortheilhaftesten sich ergeben müfste.

Sind die für den Zu- und Abgang der Güter erwachsenden Kosten für die Einheit $= A_0$ und wird eine Abfertigungsgebühr zum Betrage A erhoben, so entsteht

bei einem kilometrischen Frachtsatze f, bei kilometrischen Betriebskosten f_0 und bei einer Versendungsweite x ein Betriebsüberschufs $A - A_0 + (f - f_0)\,x$.

Macht man nun wegen der Verkehrsdichtigkeit die schon früher (Gleichung 32) beispielsweise zu Grunde gelegte, zwar willkührliche, aber nicht ganz unwahrscheinliche Annahme, dafs

$$\gamma = \gamma_0\,[v - (A - A_0) - fx]$$

ist, so erhält man den Betriebsüberschufs für die auf die Entfernung x zu versendende Gütermenge zu:

$$dU = 2\gamma_0\pi\,[v - (A - A_0) - fx]\,[A - A_0 + (f - f_0)x]\,x\,dx.$$

Man findet durch Differentiation nach A und nach f, dafs dieser Betriebsüberschufs sein höchstes Mafs erreicht für:

$$A = A_0 + \frac{v}{2}$$

und:

$$f = \frac{1}{2}\,f_0,$$

und zwar zu:

$$dU_1 = \frac{1}{2}\,\gamma_0\pi\,(v - f_0 x)^2\,x\,dx.$$

Der ganze Betriebsüberschufs ist also:

$$U_1 = \frac{1}{2}\,\gamma_0\pi\int_0^r (v - f_0 x)^2\,x\,dx,$$

worin $r = \frac{v}{f_0}$ zu setzen ist, so dafs man erhält:

$$U_1 = \frac{1}{24}\,\gamma_0\,\frac{\pi v^4}{f_0^2},$$

oder nach Einsetzung des bereits benutzten Abkürzungswerthes:

(Gl. 39) . . . . $U_1 = \frac{1}{24}\,W_1$.

Legt man das hier angenommene Gesetz der Verkehrsdichtigkeit auch für den Fall zu Grunde, dafs die Ab-

fertigungsgebühr zu dem Betrage der Selbstkosten und der kilometrische Frachtsatz zu $f = \frac{3}{2} f_0$ festgestellt wird, so erhält man:

$$U_1 = \gamma_0 \pi f_0 \int_0^r \left(v - \frac{3}{2} f_0 x\right) x^2 dx,$$

also:

$$U_1 = \frac{2}{81} \frac{\gamma_0 \pi v^4}{f_0^2},$$

oder:

(Gl. 40) $$U_1 = \frac{2}{81} W_1.$$

Man erkennt aus einer Vergleichung der Formeln 38, 39 und 40, wie vortheilhaft es ist, die Abfertigungsgebühr höher zu bemessen, als dem Betrage der für Zu- und Abgang des Verkehrs aufzuwendenden Kosten entspricht, und dabei den kilometrischen Frachtsatz zu ermäfsigen.

Man wird allerdings, wie wohl kaum bemerkt zu werden braucht, der Rechnung keineswegs weiter folgen dürfen, und die Abfertigungsgebühr um die Hälfte des Versendungswerthes über die Selbstkosten des Zu- und Abgangs steigern, zunächst schon weil dieses Rechnungsergebnifs sich auf die willkührlich angenommene Gesetzmäfsigkeit der Verkehrsdichtigkeit gründet, sodann aber auch weil der Versendungswerth der Güter nach Ort und Zeit wechselt und sich überhaupt nicht genau ermitteln läfst, und endlich, weil bei Feststellung einer so hohen Abfertigungsgebühr der Verkehr in erheblichem Mafse statt der Eisenbahnen die Landstrafsen benutzen würde.

Die Erwägung, in welcher Höhe die Abfertigungsgebühr zweckmäfsig festgestellt werden sollte, ist gewifs eine sehr schwierige. Man sollte dabei aber die hier nachgewiesene Wahrheit, dafs die Abfertigungsgebühr nicht unwesentlich

höher als die Selbstkosten für Zu- und Abgang des Verkehrs zur Erreichung eines hohen Betriebsüberschusses bemessen werden mufs, nicht aufser Acht lassen.

Namentlich verdient auch die Frage, ob nicht bei dem Personenfahrgelde unter Ermäfsigung des kilometrischen Einheitssatzes eine Zuschlaggebühr für Zu- und Abgang einzuführen wäre, in ernsteste Betrachtung gezogen zu werden.

Bei der jetzt fast allgemein bestehenden Einrichtung, nach welcher das Personen-Fahrgeld lediglich nach Verhältnifs der Reiselänge bemessen wird, werden die kurzen Reisen auf Kosten der weiten Reisen begünstigt und der Betriebsüberschufs wird dadurch geschmälert. Es könnte dies nur gerechtfertigt erscheinen, wenn dabei zur Ausgleichung andere wirthschaftliche Vortheile erreicht würden. Aber die Begünstigung der Reisen auf kleine Entfernungen, welche das Wachsthum der grofsen Städte befördert, ist doch gewifs nicht als ein Vortheil in Anschlag zu bringen, durch welchen der Nachtheil eines geringeren Betriebsüberschusses ausgeglichen wird.

§ 15.

Der gemeinwirthschaftlich günstigste Frachtsatz der Eisenbahnen.

Wird der Frachtsatz ermäfsigt, so vermindert sich der bei der Beförderung einer Gütereinheit entstehende Betriebsüberschufs um den Betrag dieser Frachtermäfsigung, während dem Verbraucher des Gutes oder dem Hersteller desselben oder einem Zwischenhändler oder diesen verschiedenen wirthschaftlichen Personen zusammen, nach irgend welchem Vertheilungsverhältnifs, durch die betreffende Gütereinheit ein Vortheil in gleichem Betrage erwächst,

wie umgekehrt bei einer Frachterhöhung der Betriebsüberschufs für die Gütereinheit um den gleichen Betrag zunimmt, welchen die am Marktverkehr dieses Gutes Betheiligten einbüfsen. Bleibt also die auf eine bestimmte Entfernung zur Versendung gelangende Gütermenge unverändert, so hat eine Verminderung oder Erhöhung des Frachtsatzes lediglich eine andere Vertheilung des wirthschaftlichen Gewinns auf die dabei Betheiligten zur Folge, aber der im Ganzen an der Gütereinheit erreichbare gemeinwirthschaftliche oder volkswirthschaftliche Gewinn bleibt unverändert.

Die Voraussetzung, dafs bei einer Veränderung des Frachtsatzes die auf gegebene Entfernung zur Versendung kommende Gütermenge unverändert bleibt, trifft aber nur in seltenen Ausnahmefällen zu. In der Regel wird durch eine Frachtermäfsigung der Preis des Gutes für den Verbraucher, wenn auch nur um einen Theil der Frachtermäfsigung, verringert, wodurch die Nachfrage nach demselben gröfser wird, und für den Hersteller des Gutes der Preis erhöht, was denselben zu vermehrtem Angebot treibt, so dafs die zur Versendung kommende Gütermenge in Folge vermehrter Nachfrage und vermehrten Angebotes zunimmt.

Wird bei einem Frachtsatze f auf die Entfernung x, also bei Erhebung einer Fracht fx eine Gütermenge γ versendet, so wird bei einer Ermäfsigung des Frachtsatzes um df der Betriebsüberschufs für diese Gütermenge um $\gamma x df$ vermindert und für den Gütermarkt ein Vortheil von gleicher Höhe erreicht; also für die früher vorhandene Verkehrsmenge gemeinwirthschaftlich nichts gewonnen oder verloren. Die Verminderung der Fracht hat für den Hersteller eine solche Preiserhöhung zur Folge, dafs er veranlafst wird, sein Angebot um $d\gamma$ zu steigern, während für

den Verbraucher eine Preisermäfsigung in solchem Mafse eintritt, um eine Menge $d\gamma$ mehr zu beziehen. Verbraucher wie Hersteller des Gutes gewinnen bei dieser Vermehrung der Gütermenge um $d\gamma$ nichts, da sie nicht mehr und nicht weniger beziehen oder liefern, als ihnen nach der eingetretenen Preisänderung angemessen erscheint. Dagegen entsteht aus der Vermehrung der Gütermenge für die Eisenbahn-Unternehmung ein neuer Gewinn im Betrage

$$dg = d\gamma\,(f - df - f_0)\,x$$

oder, bei Vernachlässigung der Gröfse zweiter Ordnung, im Betrage von:

(Gl. 41) . . . . $dg = d\gamma\,(f - f_0)\,x.$

Da sich alle anderen durch die Frachtermäfsigung entstehenden Vortheile und Nachtheile ausgleichen, so ist der letztgenannte Betrag der gemeinwirthschaftliche Vortheil der Frachtermäfsigung. Dieser Vortheil wird bei fortgesetzter Verminderung des Frachtsatzes immer mehr zunehmen, bis $f = f_0$ geworden ist, also bis der Frachtsatz f den Betrag der Selbstkosten des Betriebes f_0 erreicht hat.

Aus dieser Betrachtung folgt die wichtige Wahrheit: Gemeinwirthschaftlich wird der höchste Gewinn durch die Eisenbahnen erreicht, wenn der Frachtsatz auf die Selbstkosten des Betriebes festgestellt wird, wenn also, wie bei den Landstrafsen, auf eine Verzinsung des Anlagekapitals durch einen Betriebsüberschufs verzichtet und die Deckung der Zinsen des Anlagekapitals, wie bei den Landstrafsen, durch die allgemeinen Staatseinnahmen bewirkt wird.

Zur Veranschaulichung des entwickelten Satzes möge für die Gesetzmäfsigkeit der Abhängigkeit zwischeu Verkehrsdichtigkeit und Preis die immerhin willkührliche Annahme gemacht werden, welche aus dem gleichen Grunde

zur Erreichung gröfserer Deutlichkeit der Vorstellung schon früher gemacht wurde, wonach

$$\gamma = \gamma_0 (v - fx)$$

gesetzt wird, worin v der Versendungswerth des Gutes ist.

Bei einer Verminderung des Frachtsatzes um df entsteht also eine Vergröfserung der Verkehrsdichtigkeit $d\gamma = \gamma_0 x df$ und nach Gleichung 41 ein gemeinwirthschaftlicher Gewinn:

(Gl. 42) . . . $dg = \gamma_0 x^2 (f - f_0) df.$

Für einen Frachtsatz $f_1 = \frac{v}{x}$ ist die Verkehrsdichtigkeit $= 0$. Geht man von diesem Frachtsatze, bei welchem die erste Weckung des Verkehrs stattfindet, bis auf einen Frachtsatz f zurück, so erreicht man bei Versendung auf die Entfernung x einen gemeinwirthschaftlichen Gewinn:

$$g = \gamma_0 x^2 \int_f^{\frac{v}{x}} (f - f_0) df,$$

also:

$$g = \gamma_0 x^2 \left(\frac{1}{2}\frac{v^2}{x^2} - \frac{v f_0}{x} - \frac{1}{2} f^2 + f f_0\right).$$

Für eine ringförmige Fläche des Verkehrsgebietes von der Breite dx entsteht bei dem Frachtsatze f also ein gemeinwirthschaftlicher Gewinn:

$$dG = 2\gamma_0 \pi x^3 dx \left(\frac{1}{2}\frac{v^2}{x^2} - \frac{v f_0}{x} - \frac{1}{2} f^2 + f f_0\right).$$

Das Verkehrsgebiet findet seine Begrenzung bei der Versendungsweite $x = \frac{v}{f}$, so dafs also der für das ganze uneingeschränkte Versendungsgebiet bei dem Frachtsatze f entstehende gemeinwirthschaftliche Gewinn ist:

$$G = \pi \gamma_0 \int_0^{\frac{v}{f}} (v^2 x - 2 v f_0 x^2 - f^2 x^3 + 2 f f_0 x^3)\, dx,$$

also:

(Gl. 43) $$G = \frac{\pi\gamma_0 v^4}{f^3}\left(\frac{1}{4}f - \frac{1}{6}f_0\right).$$

Durch Differentiation nach f findet man, dafs dieser Gewinn für $f = f_0$ seinen höchsten Betrag zu:

$$G_1 = \frac{1}{12}\frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^2},$$

mithin zu:

(Gl. 44) . . . . $$G_1 = \frac{1}{12}W_1$$

erreicht.

Würde der Frachtsatz, wie im privatwirthschaftlichen Interesse der Eisenbahn-Unternehmung am günstigsten ist, zu $f = \frac{3}{2}f_0$ festgestellt, so würde ein gemeinwirthschaftlicher Gewinn, wie man durch Einsetzung von $f = \frac{3}{2}f_0$ in Gleichung 43 findet:

(Gl. 45) $$G_1 = \frac{5}{81}\frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^2} = \frac{5}{81}W_1$$

erzielt, also nur $^{20}/_{27}$ oder abgerundet $^3/_4$ von dem höchsten erreichbaren gemeinwirthschaftlichen Gewinn.

Für den parabolischen Differentialtarif, bei welchem der Frachtsatz $f = 2f_0 - \frac{f_0^2 x}{v}$ gefunden wurde, ergiebt sich der gemeinwirthschaftliche Gewinn bei einer Versendungsweite x zu:

$$g = \gamma_0 x^2\left(\frac{1}{2}\frac{v^2}{x^2} - \frac{vf_0}{x} - \frac{1}{2}f_0^4\frac{x^2}{v^2} + f_0^2\frac{x}{v}\right)$$

und der gemeinwirthschaftliche Gewinn für das ganze Versendungsgebiet:

$$G_1 = 2\pi\int_0^{\frac{v}{f_0}} gx\,dx,$$

also:

(Gl. 46) . . . . $$G_1 = \frac{1}{15}\frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^2} = \frac{1}{15}W_1,$$

das ist um 8 Procent gröfser als bei dem günstigsten unveränderlichen privatwirthschaftlichen Frachtsatze $f = \frac{3}{2} f_0$.

Der parabolische Differentialtarif ist also nicht allein im privatwirthschaftlichen Interesse, sondern auch vom Standpunkte der Gemeinwirthschaft besser als ein unveränderlicher kilometrischer Frachtsatz.

Für das angenommene Gesetz der Verkehrsdichtigkeit würde der Betriebsüberschufs bei konstantem kilometrischen Frachtsatze sein:

$$U = 2\pi\gamma_0 \int_0^{\frac{v}{f}} (v - fx)(f - f_0)\, x^2 dx,$$

das ist:

$$U = \frac{1}{6}\pi\gamma_0 \frac{v^4}{f^3}(f - f_0),$$

mithin für $f = \frac{3}{2} f_0$:

(Gl. 47) $$U_1 = \frac{2}{81}\frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^2} = \frac{2}{81} W_1.$$

Bei Erhebung des privatwirthschaftlich günstigsten Frachtsatzes würde demnach, unter Voraussetzung, dafs der Versendungswerth der Güter voll ausgenutzt wird und das beispielsweise angenommene Gesetz der Verkehrsdichtigkeit richtig ist, der gemeinwirthschaftliche Nutzen der Eisenbahnen $2\frac{1}{2}$mal so grofs als der Betriebsüberschufs sein, wie eine Vergleichung der Formeln 45 und 47 zeigt.

Wird das Verkehrsgebiet durch benachbarte Marktorte eingeschränkt, so vermindern sich sowohl der gesammte, aus der Versendung des Gutes zu erzielende Betriebsüberschufs wie der dabei entstehende gemeinwirthschaftliche Gewinn, aber der erstere in stärkerem Mafse als der letztere, so dafs das Vielfache, um welches der gemeinwirthschaftliche Gewinn den Betriebsüberschufs übersteigt, zunimmt.

Die Bestimmung des gemeinwirthschaftlichen Gewinnes der Eisenbahnen bleibt aber, abgesehen von der Unsicherheit in Bezug auf das Mafs, in welchem der Versendungswerth der Güter zur Ausnutzung kommt, so lange eine unzuverlässige, als die Gesetzmäfsigkeit, nach welcher die Verkehrsdichtigkeit durch den Frachtsatz bestimmt wird, nicht bekannt ist.

Von hervorzuhebender Bedeutung ist aber, dafs die Wahrheit des gefundenen Satzes, nach welchem der höchste gemeinwirthschaftliche Gewinn erreicht wird, wenn der Frachtsatz zu den Selbstkosten des Betriebes festgestellt wird, durchaus unabhängig von der Gesetzmäfsigkeit der Verkehrsdichtigkeit wie von dem Mafse ist, in welchem der Versendungswerth der Güter zur Ausnutzung gelangen kann. Die Richtigkeit dieses Satzes ist nur an die Thatsache gebunden, dafs mit einer Verminderung des Frachtsatzes die Verkehrsmenge überhaupt, sei es auch nach irgend welchem Gesetze, zunimmt. Die Richtigkeit dieser Thatsache wird aber Niemand leugnen, denn selbst in dem Falle, dafs die Menge eines Gutes unabänderlich gegeben ist, wie z. B. die Ergiebigkeit einer Petroleumquelle, wird durch die Herabsetzung des Frachtsatzes doch die Verkehrsmenge in Tonnen-Kilometern wachsen.

Die Gewinnung eines Gutes von unabänderlicher Menge kann als Monopol betrieben werden, indem der Preis am Ursprungsorte so hoch bemessen wird, dafs bei dem bestehenden Frachtsatze die zur Absetzung der ganzen Menge erforderliche äufserste Versendungsweite gewonnen wird. Bei Herabsetzung des Frachtsatzes würde bei unveränderter Festhaltung des Preises am Ursprungsorte im ganzen Absatzgebiete der Preis sich ermäfsigen und demnach die Nachfrage sich vergröfsern; am stärksten würde

die Vermehrung der Nachfrage an der Grenze des ursprünglichen Absatzgebietes und es würde selbst darüber hinaus noch eine Nachfrage entstehen. Dies mufs Veranlassung zu einer Erhöhung des Preises am Ursprungsorte werden, wodurch der Preis des Gutes trotz der Frachtermäfsigung bis auf einen gewissen Abstand vom Ursprungsorte sich erhöht und die Nachfrage innerhalb dieses Umkreises sich vermindert, während darüber hinaus bei ermäfsigtem Preise die Nachfrage zunimmt und der Absatz sich über die Grenze des ursprünglichen Absatzgebiets erweitert. Es wächst sonach bei gleichbleibender Gewichtsmenge die Zahl der Tonnen-Kilometer. Es begreift sich wohl ohne den etwas weitläufigen rechnerischen Nachweis, dafs auch in diesem Ausnahmefalle die Herabsetzung des Frachtsatzes den gemeinwirthschaftlichen Gewinn so lange vergröfsert, bis der Frachtsatz auf die Selbstkosten des Betriebes herabgesetzt ist.

§ 16.

Die Grundsätze der Tarifbildung der Eisenbahnen.

Der Verkehr auf den Land- und Wasserstrafsen wird mit Vortheil der Privatwirthschaft überlassen, weil dabei ein ungehinderter freier Wettbewerb möglich ist, welcher ein wirksamer Ansporn zu Verbesserungen und zu bester und billigster Durchführung des Betriebes wird. Niemand wird aber bestreiten wollen, dafs der Bau und die Unterhaltung der Land- und Wasserstrafsen Sache der Gemeinwirthschaft ist und in geordnetem Staatswesen vom Gesammtstaate oder Unterabtheilungen desselben ausgeführt werden müssen, weil hierbei der freie Wettbewerb ausgeschlossen ist, durch welchen allein mit genügender Sicherheit die privatwirthschaftliche Thätigkeit in einer dem

Gemeinwohl dienenden Weise geregelt werden kann. Die staatliche Ueberwachung und gesetzliche Beschränkung einer als Monopol betriebenen privatwirthschaftlichen Thätigkeit kann zwar manche Uebelstände beseitigen und manche Gefahren mildern, wird aber niemals die Privatunternehmung zwingen können, ganz und gar im gemeinwirthschaftlichen Interesse zu wirken.

Bei den Eisenbahnen bildet aber nicht allein der Bau und die Unterhaltung, sondern auch der Betrieb ein Monopol. Die Erfahrung hat in ausgiebigster Weise gezeigt, dafs da, wo für den Verkehr zwischen zwei Orten mehrere, verschiedenen Eigenthümern gehörende Linien zur Verfügung stehen, der zeitweise eintretende Wettbewerb doch sehr bald durch Vereinbarungen zum Abschlufs gebracht wird. Das Monopol der Eisenbahnen erfährt nur in solchem Mafse eine Abschwächung, als Land- oder Wasserstrafsen neben ihnen vorhanden sind, da der freie Betrieb auf diesen nicht durch Vereinbarungen aufser Kampf gesetzt werden kann.

Der unzweifelhaft gemeinwirthschaftliche Charakter der Eisenbahnen geht auch noch aus den Ausführungen des § 3 hervor, nach welchen die zutreffende Bestimmung der Trafse und des auf die Anlage zu verwendenden Baukapitals nur nach gemeinwirthschaftlicher Auffassung des gesammten Verkehrsbedürfnisses geschehen kann, sowie aus den Betrachtungen der §§ 14 und 15, welche zeigen, dafs der höchste gemeinwirthschaftliche Nutzen der Eisenbahnen nur erreicht werden kann, wenn die Frachtsätze auf die Höhe der Selbstkosten des Betriebes unter Verzicht auf Verzinsung des Anlagekapitals festgestellt werden, wodurch jede Privatunternehmung ausgeschlossen wird.

Die irrthümliche Auffassung, nach welcher die Eisenbahnen auch als privatwirthschaftliche Unternehmung be-

rechtigt sind, gründet sich vornehmlich darauf, dafs thatsächlich die Eisenbahnen vielfach der Privatunternehmung überlassen sind, ferner auf die unzweifelhafte Wahrheit, dafs der rasche Ausbau des Eisenbahnnetzes wesentlich der Privatunternehmung zu danken ist, für welche die Aussicht auf Erwerb zu einem mächtigen Ansporn angestrengter Thätigkeit wurde, welche der Staat in gleichem Mafse nicht würde haben entfalten können, endlich auch wohl auf den Hinweis, dafs die privatwirthschaftliche Unternehmung der Eisenbahnen vielfach segensreich gewirkt hat und wirkt. Allein alles dies sollte die Erkenntnifs nicht trüben, dafs der volle Segen der Eisenbahnen nur erreicht werden kann, wenn sie in den Händen des Staates sind, als gemeinwirthschaftliche Unternehmung durch und auf Rechnung der Gemeinwirthschaft verwaltet werden. Nach Sax*), welcher den gemeinwirthschaftlichen Charakter der Eisenbahnen anerkennt, soll es allerdings zulässig sein, die Eisenbahnen als „öffentliche Unternehmung“ vom Staate an die Privatthätigkeit mit der Auflage zu übertragen, die Verwaltung im Interesse der Gemeinwirthschaft zu führen. Dieser Auffassung tritt aber Ulrich**) in kurzer, schlagender Darstellung gegenüber, indem er schliefst: „es ist ein vergebliches Bemühen, Privatbahnen durch Gesetze und Verwaltungsvorschriften dazu bringen zu wollen, dafs sie ihrer Natur entgegen in ihrer Tarifgestaltung und Verkehrspolitik die allgemeinen Interessen vor ihren Privatinteressen berücksichtigen“.

*) Sax, Die Verkehrsmittel in Volks- und Staatswirthschaft. Wien. 1878.

**) Ulrich, Das Eisenbahn-Tarifwesen. Berlin und Leipzig. 1886.

Von den verschiedenen Verwaltungsgrundsätzen, welche man in der Wirthschaftslehre zu unterscheiden pflegt, kann für die Privateisenbahnen lediglich und allein der privatwirthschaftliche Grundsatz in Frage kommen, welcher auf Erzielung des möglichst grofsen Betriebsüberschusses oder Reingewinns berechnet ist. Einen besonderen „Verwaltungsgrundsatz der öffentlichen Unternehmung", den einzelne Schriftsteller aufzustellen versucht haben, welche die Privatbahnen als „öffentliche Unternehmung mit delegirter Gemeinwirthschaftsfunktion" betrachtet wissen wollen, giebt es nicht. Es läfst sich doch gewifs nicht annehmen, dafs die Privatunternehmung durch gesetzliche Beschränkungen, welche ihr in Bezug auf die Tarifbildung und die Höhe der Frachtsätze auferlegt werden, oder durch die Vorschriften, welche der Staat für die Art der Betriebsdurchführung stellt, von dem Bestreben abgebracht werden sollte, so viel an Gewinn zu erzielen, als bei dieser Zwangslage möglich ist, und über den ihr auferlegten Zwang hinaus irgend etwas für das Gemeinwohl zu thun, wodurch sie ihre Privatinteressen schädigte. Die Meinung, als ob durch gesetzliche Vorschrift und Ueberwachung die Verwaltung der Privatbahnen in solcher Weise geregelt werden könne, dafs die Verfolgung ihrer Privatinteressen stets auch zur Förderung des Gemeinwohls gereiche, läfst sich nicht mehr festhalten, sobald man erkannt hat, dafs im gemeinwirthschaftlichen Interesse auf eine Verzinsung des Anlagekapitals ganz und gar verzichtet werden mufs, wozu die Privatunternehmung sich niemals bereit finden wird.

Für die Verwaltung der Privatbahnen kann es nur einen einzigen Grundsatz geben, nämlich den privatwirthschaftlichen, nach welchem der

gröfseste Reingewinn erstrebt wird, welcher innerhalb der auferlegten Beschränkungen erreichbar ist.

Für die Verwaltueg der Staatseisenbahnen können dagegen alle drei, gewöhnlich unterschiedenen Verwaltungsgrundsätze in Anwendung kommen, nämlich erstens die Behandlung als unentgeltliches allgemeines Genufsgut, zweitens die Gebühren-Erhebung und drittens die Verwaltung im privatwirthschaftlichen Sinne zur Erreichung des höchsten Betriebsüberschusses.

Soll der höchste gemeinwirthschaftliche Nutzen der Eisenbahnen gewonnen worden, so müssen sie, wie bereits festgestellt wurde, als unentgeltliches allgemeines Genufsgut verwerthet werden. Allein es wird noch nachgewiesen werden, dafs der Staat nicht immer die genügende wirthschaftliche Kraft besitzt, um diese Aufgabe voll durchführen zu können, sondern dafs er in der Regel auf den höchsten Nutzen verzichten mufs und in der Nothlage sich befindet, die Verwaltung nach dem zweiten oder gar nach dem dritten Grundsatze einzurichten.

Als unentgeltliches allgemeines Genufsgut werden vom Staate oder von staatlichen Unterabtheilungen beispielsweise die öffentlichen Kunstdenkmäler, die öffentlichen Sammlungen für Kunst und Wissenschaft, öffentliche Garten-Anlagen, die Sicherung von Person und Eigenthum, die Landstrafsen und theilweise auch die Wasserstrafsen und Häfen verwaltet. Die Anwendung dieses Grundsatzes auf die Verwaltung der Eisenbahnen würde nun aber keineswegs zur Folge haben, dafs der Staat die Beförderung der Personen oder Güter unentgeltlich übernimmt, sondern nur, dafs dabei auf eine Verzinsung und Tilgung der Kosten der für den einzelnen Nutzungsfall vorbereitenden Arbeiten

verzichtet wird, dagegen nicht auf die zur unmittelbaren Ausführung des einzelnen Nutzungsfalles erforderlichen Kosten.

Wie man auch die Höhe des Frachtsatzes bestimmen mag und wie grofs in Folge dieser Höhe des Frachtsatzes der Verkehr sein möge, es bleibt immer ein hiervon unabhängiger Betrag an Zinsen des Anlagekapitals, die Unterhaltungskosten des Bahnkörpers und so gar einzelne von der Gröfse des Verkehrs unabhängige Betriebskosten zu decken, welche von dem früher berechneten, mit der Höhe des Frachtsatzes veränderlichen gemeinwirthschaftlichen Gewinne G mit dem Betrage A in Absatz zu bringen sind. In der Feststellung des Gewinnes G kommt dann von den Ausgaben nur derjenige Theil in Rechnung, welcher in gleichem Verhältnifs mit der Zahl der beförderten Einheiten wächst, also der Betrag f_0 für die Einheit, welcher durch die unmittelbare Ausführung der Nutzung entsteht.

Durch die Rechnungen des § 15 wurde bewiesen, dafs der gemeinwirthschaftliche Gewinn G und folglich auch der nach Abzug des unveränderlichen Betrages A verbleibende Reingewinn $G - A$ am gröfsesten wird, wenn der Frachtsatz f gleich den eigentlichen Selbstkosten des Betriebes f_0 gesetzt wird, welche durch die Nutzung unmittelbar entstehen.

Bei den Eisenbahnen ist also als unentgeltliches allgemeines Genufsgut nur die für den Betrieb bereit gestellte Bahnanlage zu behandeln, so dafs die Frachtsätze auf den Betrag der aus der Fortbewegung der Lasten entstehenden Kosten, einschliefslich der hiervon abhängigen Kosten der Bahn-Unterhaltung, festzustellen sind.

Bei den Landstrafsen leistet die Gemeinwirthschaft über dieses zweckmäfsigste Mafs hinaus auch die Kosten der Strafsen-Unterhaltung, welche durch den Betrieb ent-

stehen. Dieser Theil der Strafsen-Unterhaltungskosten ist auf etwa $^1/_{10}$ der Betriebskosten im Durchschnitt anzunehmen, so dafs vom Verkehr nur $0{,}9\,f_0$ bezahlt werden. Setzt man in der für den gemeinwirthschaftlichen Gewinn durch Gleichung 43 gegebenen Formel $f = 0{,}9\,f_0$ ein, so erhält man $G = \frac{175}{2187}\,\frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^3}$, was gegen den höchsten erreichbaren Betrag von $\frac{1}{12}\,\frac{\pi\gamma_0 v^4}{f_0^3}$, welcher für $f = f_0$ entsteht, um rund 4 Prozent zurückbleibt.

Würde man durch Erhebung eines Wegezolls, ähnlich wie dies früher geschah, die aus der Einwirkung des Verkehrs entstehenden Unterhaltungskosten der Strafse decken, so würde man den gemeinwirthschaftlichen Nutzen der Strafsen also um 4 Prozent erhöhen. Da aber die Erhebung des Wegezolls (Chausseegeld) neue Kosten verursacht, da Unterschleife dabei leicht vorkommen und da die Erhebung als eine grofse Unbequemlichkeit empfunden wird, so rechtfertigt es sich wohl, auch die Kosten der Strafsen-Unterhaltung von der Gemeinwirthschaft unentgeltlich zu leisten.

Die Verwaltung als allgemeines Genufsgut, welche bei den Landstrafsen aus Nebengründen über das gemeinwirthschaftlich günstigste Mafs hinaus durchgeführt ist, konnte bei den Eisenbahnen bisher nicht zur Geltung kommen, weil es dem Staate an wirthschaftlicher Kraft dazu fehlt. Der Staat wird in der Regel die Verzinsung und Tilgung des in den Eisenbahnen festgelegten Kapitals nicht aus anderen Einnahmen bestreiten können, sondern wird zur Deckung dieser Ausgaben auf Erzielung von Betriebsüberschüssen bei den Eisenbahnen selbst angewiesen sein. Wo

die Möglichkeit vorliegt, die Betriebsüberschüsse noch über das für Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals erforderliche Mafs zu steigern, wird auch hierauf meistens nicht verzichtet werden können, da es wohl kaum eine bequemere, gerechtere und weniger drückend empfundene Art der indirekten Besteuerung giebt als durch die Eisenbahn-Frachtsätze. Der Staat wird also in der Regel die Eisenbahnen im Allgemeinen nach dem gleichen privatwirthschaftlichen, auf Erzielung des höchsten Betriebsüberschusses gerichteten Grundsatze verwalten wie eine Privatunternehmung. Dabei besteht aber der wesentliche Unterschied, dafs der über die Verzinsung hinausgehende Betrag des Betriebsüberschusses der Gemeinwirthschaft erhalten bleibt, während dieser bei Privatbahnen eine Bereicherung Einzelner auf Kosten der Allgemeinheit bildet.

Dafs die Eisenbahnen, so lange die Frachtsätze nicht auf die Selbstkosten des Betriebes herabgesetzt, sondern in einer den höchsten Betriebsüberschufs herbeiführenden Weise festgesetzt werden, den erreichbaren gröfsten gemeinwirthschaftlichen Gewinn nicht liefern, ist ein Uebelstand, der bei jeder Steuer-Erhebung eintritt und der erst bekämpft werden dürfte, wenn nachgewiesen wäre, dafs es eine andere Art der Besteueruug von gleicher Ergiebigkeit gäbe, welche gemeinwirthschaftlich weniger schädlich wirkte.

Für die privatwirthschaftliche Frachtbildung wurden in § 13 und § 14 drei verschiedene Gesetze in Betrachtung gezogen, — und zwar:

1) Erhebung einer hohen, über die Selbstkosten des Zu- und Abgangs hinausgehenden Abfertigungsgebühr und eines gleichbleibenden kilometrischen Frachtsatzes.

Wenn bei dieser Gesetzmäfsigkeit die Abfertigungsgebühr um die Hälfte des Versendungswerthes über die

Selbstkosten des Zu- und Abgangs erhöht und der kilometrische Frachtsatz auf die Hälfte der Selbstkosten bestimmt würde, so entstände nach Gleichung 39 der höchste Betriebsüberschufs zu:

$$U_1 = \frac{1}{24} W_1.$$

Von der Einführung einer solchen Art der Frachtbildung kann, wie bereits früher erwähnt wurde, schon deshalb nicht die Rede sein, weil auf kurze und selbst auf mittlere Entfernungen dadurch die Landstrafsenfracht übertroffen werden würde.

2) Erhebung der Abfertigungsgebühr im Betrage der Selbstkosten des Zu- und Abgangs und Feststellung eines mit wachsender Entfernung abnehmenden Frachtsatzes.

Nach Gleichung 38 wird der höchste Betriebsüberschufs

$$U_1 = \frac{1}{30} W_1$$

bei dieser Frachtbildung erzielt, wenn der Frachtsatz von $f = 2f_0$ allmählich nach dem Gesetze $f = 2f_0 - \frac{f_0^2}{v} x$ bis auf f_0 abnimmt.

Dieser Art der Frachtbildung, welche man als den parabolischen Differentialtarif bezeichnen kann, steht die Schwierigkeit gegenüber, dafs zu richtiger Abmessung der Verminderung des kilometrischen Frachtsatzes der Versendungswerth v der Güter bekannt sein mufs und dafs für jedes einzelne Gut, entsprechend seinem Versendungswerthe, die Verminderung verschieden bemessen werden mufs.

3) Die Abfertigungsgebühr wird zum Betrage der Selbstkosten des Zu- und Abgangs erhoben und der kilometrische Frachtsatz für alle Entfernungen gleichbleibend festgestellt.

Zur Erzielung des höchsten Ueberschusses ist der Frachtsatz auf das $1^1/_2$ fache der Selbstkosten des Betriebes festzustellen, wobei sich nach Gleichung 40 ergiebt:

$$U_1 = \frac{2}{81} W_1.$$

Diese Art der Frachtbildung ist praktisch am einfachsten durchführbar, da man den Versendungswerth der Güter nicht zu kennen braucht.

Bedenkt man aber, dafs der Betriebsüberschufs nur $^{20}/_{27}$ desjenigen beträgt, welcher bei dem parabolischen Differentialtarif gewonnen wird, und berücksichtigt man ferner, dafs der gemeinwirthschaftliche Nutzen der Eisenbahnen (vergl. § 15) bei dem parabolischen Differentialtarif um 8 Prozent gröfser als bei dem gleichbleibenden Frachtsatze ausfällt, so erscheint es gewifs geboten, die Einführung des parabolischen Differentialtarifs in ernsteste Erwägung zu nehmen.

Es mufs bemerkt werden, dafs die angeführten Zahlenwerthe sich auf die Annahme stützen, nach welcher die Verkehrsdichtigkeit $\gamma = \gamma_0 (v - fx)$, also proportional dem nach Abzug der Fracht noch verbleibenden Versendungswerthe des Gutes ist. Man kann die Richtigkeit dieser Gesetzmäfsigkeit der Verkehrsdichtigkeit und demnach auch die Richtigkeit der berechneten Zahlenwerthe anzweifeln, ohne dafs dadurch die allgemeine Wahrheit umgestofsen wird, dafs der parabolische Differentialtarif einen höheren Betriebsüberschufs als der Tarif mit gleichbleibendem Frachtsatze liefert. Denn man kann die Feststellung des Gesetzes der Verkehrsdichtigkeit ganz umgehen, indem man statt des einen Gutes mit veränderlicher Verkehrsdichtigkeit eine beliebige Anzahl verschiedener Güter an die Stelle setzt, deren jedes bei unveränderlicher Verkehrsdichtigkeit einen

abweichenden Versendungswerth hat. Für jedes dieser einzelnen Güter mit gleichbleibender Verkehrsdichtigkeit ist dann der Betriebsüberschufs bei Zugrundelegung des parabolischen Differentialtarifs nach Gleichung 27:

$$U_1 = \frac{1}{6} W,$$

und für den gleichbleibenden Frachtsatz nach Gleichung 24:

$$U_1 = \frac{8}{81} W.$$

Für beide in Vergleichung gezogene Arten der Frachtbildung sind die Frachtsätze $2f_0 - \frac{f_0^2}{v} x$ und beziehungsweise $\frac{3}{2} f_0$ aber nur dann die günstigsten, wenn die Versendung uneingeschränkt bis zu voller Ausnutzung des Versendungswerthes ausgedehnt werden kann. Ist das Bahngebiet für diese Annahme nicht ausgedehnt genug oder findet die äufserste Versendungsweite durch benachbarte Marktorte eine Einschränkung oder handelt es sich um den Verkehr auf einer Zweigbahn, so müssen zur Erzielung des höchsten Betriebsüberschusses bei beiden Arten der Frachtbildung die Sätze erhöht werden. Dieser Umstand macht die richtige Bestimmung der zur Erreichung des höchsten Betriebsüberschusses zu erhebenden Frachtsätze, für welche die Sätze $f = 2f_0 - \frac{f_0^2}{v} x$ oder beziehungsweise $f = 1\,{}^1/_2 f_0$ die untere Grenze bilden, sehr schwierig, ja vielfach unmöglich. Setzt man die Frachtsätze zu niedrig an, so büfst man am Betriebsüberschusse ein, gewinnt aber an gemeinwirthschaftlichem Nutzen mehr als diese Einbufse, während man bei zu hoher Abmessung der Frachtsätze nicht allein den Betriebsüberschufs vermindert, sondern in noch höherem Mafse den gemeinwirthschaftlichen Nutzen der Eisenbahnen beeinträchtigt. Es ist also mit besonderer

Sorgfalt eine zu hohe Feststellung der Frachtsätze zu vermeiden. Man könnte sich hiergegen ein für alle Mal versichern, indem man die untere Grenze der Frachtsätze ganz allgemein in Ansatz brächte. Dadurch entstände ein Uebergang von dem rein privatwirthschaftlichen zu dem Grundsatze der Gebührenerhebung.

Bei Entscheidung für den parabolischen Differentialtarif könnte man die schwierige Feststellung des Versendungswerthes der Güter praktisch dadurch umgehen, dafs man die Verminderung des Frachtsatzes allgemein zonenweise eintreten liefse, etwa indem für die ersten 50 Kilom. je $2f_0$, für die nächsten 50 km je $1{,}8f_0$ und so weiter bis auf alle Entfernungen über 250 m der kilometrische Satz mit f_0 zur Berechnung käme.

Man würde dabei dann nur so viele Tarifklassen haben, als bei den Selbstkosten des Betriebs Verschiedenheiten vorkommen.

Doch die Verwerthung der hier entwickelten theoretischen Untersuchungen für die praktische Tarifbildung kann nicht Gegenstand der Theorie des Trafsirens sein, noch weniger aber die Erwägung der Frage, wie weit die wirthschaftliche Kraft irgend eines Staates es gestattet, von dem privatwirthschaftlichen Standpunkte der Tarifbildung zum Grundsatze der Gebührenerhebung oder gar zur Verwaltung der Eisenbahn als allgemeines Genufsgut überzugehen.

§ 17.

Die Bauwürdigkeit geplanter Eisenbahnen.

Nach den vorangehenden Untersuchungen über den gemeinwirthschaftlichen Nutzen und den privatwirthschaftlichen Gewinn der Eisenbahnen kann an die Ermittelung

der Bauwürdigkeit einer geplanten Eisenbahn gegangen werden, welches eine wichtige Aufgabe des Trafsirens bildet.

Bei Lösung dieser Aufgabe kommt es auf die Feststellung der Bau- und Betriebskosten der Bahn, sowie auf die Abschätzung des zu erwartenden Verkehrs an. Die Bau- und Betriebskosten werden sich nach Erledigung der Vorarbeiten in der Regel mit hinreichender Schärfe feststellen lassen, während die Abschätzung des Verkehrs selbst bei aller Sorgfalt und bei richtiger Verfahrungsweise nicht immer mit dem erwünschten Grade der Genauigkeit erreicht werden kann. Man geht dabei noch jetzt nicht selten von der Feststellung des auf den Landstrafsen bereits vorhandenen Verkehrs aus und nimmt ein gewisses Vielfaches desselben für den Verkehr der Eisenbahn an, wobei man aber für die Abschätzung der Vervielfachung einem unsicheren, ja völlig rathlosen Dafürhalten überlassen ist. Der Erste, welcher für diesen Zweck ein zutreffenderes und zugleich einfaches Verfahren angegeben hat, ist bekanntlich der französische Ingenieur Michel, dessen hierauf bezügliche Arbeit in den Annales des ponts et chaussées, 1868, S. 145 veröffentlicht ist.

Michel setzt die Gröfse des zu erwartenden Verkehrs proportional der Einwohnerzahl der Stationsorte, unter Hinzurechnung der in der „Bannmeile“ dieser Orte angesiedelten Bevölkerung, wobei er dann noch verschiedene Stufen der wirthschaftlichen Bedeutung der Gegend unterscheidet. Im Durchschnitt für das gesammte französische Bahnnetz fand Michel, dafs auf jeden Kopf der am Eisenbahnverkehr betheiligten Bevölkerung jährlich 6,5 Reisende und 2,1 Tonnen Güter kommen; in lediglich Ackerbau treibenden Gegenden ermäfsigt sich dieser Verkehr auf $^2/_3$ und steigt in betriebsamen Gegenden auf das $^4/_3$ fache.

Rechnet man den Betriebsüberschufs für den Personen-Kilometer wie für den Tonnen-Kilometer zu 2 Pfennig, was für die durschschnittlichen Frachtsätze und Betriebskosten der deutschen Eisenbahnen ziemlich genau zutrifft, so würde man für den französischen Durchschnittsverkehr von 13 abreisenden und ankommenden Personen und 4,2 Tonnen als Summe der abgehenden und ankommenden Güter einen Betriebsüberschufs von

$$c = (13 + 4{,}2)\,0{,}02 = \text{rund } {}^1/_3 \text{ Mark}$$

für jeden Kopf der Eisenbahn-Bevölkerung und jedes Kilometer, welches dieser Verkehr durchläuft, erhalten.

Michel untersucht hiernach den auf Zweigbahnen entstehenden Betriebsüberschufs unter der gewifs erlaubten Annahme, dafs der gesammte Verkehr aller Stationen der Zweigbahn bis an die Hauptbahn sich erstreckt. Ist also die Bevölkerung der um x_1, x_2 u. s. w. von der Hauptbahn entfernten Stationsorte ε_1, ε_{11} u. s. w., so ist der Betriebsüberschufs $U = c\,\Sigma\,(Ex)$.

Dieses einfache Verfahren fand vielfache Verwendung, besonders in Italien und Oesterreich, wobei man vornehmlich bemüht war, den Verkehrs-Koeffizienten c den örtlichen wirthschaftlichen Verhältnissen gemäfs zu ermitteln.

Eine zutreffende Bestimmung des durchschnittlichen Verkehrs-Koeffizienten für das deutsche Eisenbahnnetz erhält man durch die folgende Rechnung, welche auf Grund der Betriebsergebnisse und der Volkszählung vom Jahre 1880 angestellt ist.

Es waren 4502,7 Stationen vorhanden, wobei die gemeinsam mit fremden Verwaltungen benutzten Grenzstationen mit einem entsprechenden Bruchtheil in Rechnung gestellt sind; diese Stationen befanden sich an 4450 Orten. Die Einwohnerzahl dieser Orte und der aufserdem noch

vorhandenen 754 Haltestellen beträgt nach sorgfältiger Zusammenstellung rund 18¼ Millionen. Hierzu mufs man, um die für den Eisenbahnverkehr mafsgebende Bevölkerung zu erhalten, noch eine Zahl hinzurechnen, durch welche dem Antheil der Bevölkerung des Hinterlandes der Stationen am Eisenbahnverkehr Rechnung getragen wird. Da im Jahre 1880 die Gesammtbevölkerung Deutschlands 45 234 061 betrug, so kommt nach Abzug der in den Stationsorten angesiedelten Bevölkerung auf das Hinterland jeder Station durchschnittlich eine Bevölkerung von 6112 Personen. Aus der Gesammtgröfse des deutschen Reiches von 540 522 qkm berechnet sich die durchschnittliche Gröfse eines Stationsgebietes zu 121,5 qkm; so dafs, nach Abzug einer Grundfläche von 3 bis 4 qkm für den Stationsort selbst, auf jedes Quadrat-Kilometer des Hinterlandes der Stationen 52 Einwohner kommen.

Die mittlere Entfernung der Stationen erhält man, wenn man die Gesammtlänge des deutschen Eisenbahnnetzes von 33430 km durch eine Zahl theilt, in welcher jede Station mit der halben Anzahl der von ihr ausgehenden Bahnlinien enthalten ist, zu 6,96 km oder genau genug zu 7 km. Das Stationsgebiet hat also durchschnittlich in der Richtung der Bahn eine Länge von 7 km und nach jeder Seite der Bahn eine Breite von 8⅔ km.

Der Verkehr des Hinterlandes der Stationen nach und von der Eisenbahn erfolgt zum überwiegendem Theile auf besteinten Landstrafsen, theilweise auch auf rohen Erdwegen und ausnahmsweise auf Wasserstrafsen. Da der Frachtsatz auf besteinten Strafsen im Durchschnitt etwa das 5fache, der auf rohen Wegen etwa das 20fache der Eisenbahnfrachtsätze beträgt, so wird bis zur Erreichung

der Eisenbahn schon ein nicht unerheblicher Theil des Versendungswerthes der Güter verbraucht.

Die durchschnittliche Versendungsweite der Güter betrug im Jahre 1880 auf den deutschen Eisenbahnen nur 81 Kilometer. Da in dieser Durchschnittsziffer auch der auf geringere Entfernungen stattfindende Verkehr des Hinterlandes der Stationen einbegriffen ist, so wird man die durchschnittliche Versendungsweite des zwischen den Stationsorten selbst erfolgenden Verkehrs etwas gröfser, etwa zu 85 Kilometer, anzunehmen haben. Hat der Verkehr des Hinterlandes der Stationen bis zur Eisenbahn oder von derselben durchschnittlich 6 Kilometer auf besteinter Strafse zurückzulegen, was einer Versendung auf 30 Kilometer Entfernung auf Eisenbahnen an Kosten gleichkommt, so wird der Verkehr des Hinterlandes auf dem Eisenbahnnetze nur noch $85 - 30 = 55$ km zurücklegen. Der Hinterlandsverkehr benutzt die Eisenbahnen also im Durchschnitt nur auf $\frac{55}{85} = 0{,}64$ derjenigen Weite, welche der von den Stationsorten selbst ausgehende Verkehr zurücklegt. Da nach den früher angestellten Rechnungen die Anzahl der auf der Eisenbahn zurückgelegten Tonnen-Kilometer der 4. Potenz des Versendungswerthes proportional ist, so wird der Hinterlandsverkehr an Tonnen-Kilometern der Eisenbahn nur den $0{,}64^4$. Theil, das ist etwa nur $^1/_6$ derjenigen Verkehrsmenge zuführen, welche eine gleiche, im Stationsorte wohnende Bevölkerungsmenge liefert. Zu der gleichen Verhältnifszahl kann man durch ähnliche Betrachtungen für die Betheiligung des Hinterlandes am Personenverkehr gelangen.

Nach Untersuchungen von Sonne, welche in der Deutschen Bauzeitung, Jahrgang 1881, S. 216, veröffent-

licht sind und welche sich auf statistische Ermittelungen Köpcke's stützen, kommt man ebenfalls zu dem Ergebnifs, dafs bei der jetzt erreichten Dichtigkeit des deutschen Eisenbahnnetzes die Bevölkerung des Hinterlandes einer Station nur etwa den 6. Theil des Verkehrs für die Eisenbahnen liefert, wie die am Stationsorte selbst wohnende Bevölkerung. Sonne giebt eine Kurve, deren Abscissen x den Abstand vom Stationsorte in Kilometern darstellen, während die Ordinaten den Antheil y angeben, welchen die in diesem Abstande x entfernt wohnende Bevölkerung am Eisenbahnverkehr nimmt. Setzt man die Betheiligung der am Stationsorte wohnenden Bevölkerung am Eisenbahnverkehr für jeden Kopf gleich 1, so ist nach der von Sonne gegebenen Kurve die Betheiligung einer um x Kilometer vom Stationsorte entfernt angesiedelten Bevölkerung für jeden Kopf annähernd:

$$y = \left(1 - \frac{x}{12}\right)^4.$$

Für die ganze Ausdehnung des Stationsgebietes ergiebt diese Formel durchschnittlich nahezu $^1/_6$.

Auch das Verfahren Michel's, welcher zur Berücksichtigung des Einflusses des Hinterlandes der Einwohnerzahl der Stationsorte die in der „Bannmeile" derselben angesiedelte Bevölkerung hinzuzählt, wird zu einem ähnlichen Ergebnifs führen.

Offenbar können die eingeschlagenen Wege zur Ermittelung des Einflusses des Hinterlandes auf den Eisenbahnverkehr nicht auf einen befriedigenden Grad der Zuverlässigkeit Anspruch machen. Man wird sich aber mit einem solchen Schätzungsverfahren begnügen müssen, so lange nicht zutreffende statistische Erhebungen vorliegen, und wird dies um so eher können, als der etwa gemachte Fehler

auf das Endergebnifs der anzustellenden weiteren Rechnungen keinen in Betracht kommenden Einflufs äufsern kann.

Aufserhalb der Eisenbahnstationsorte wohnten im Jahre 1880 in Deutschland rund 27 Millionen, so dafs den $18^1/_4$ Millionen der Stationsbevölkerung noch $^1/_6 \cdot 27 = 4^1/_2$ Millionen hinzugezählt werden müssen, um die für den Eisenbahnverkehr mafsgebende Bevölkerung zu erhalten, welche sich danach auf $22^3/_4$ Millionen stellt.

Im Jahre 1880 wurden auf den deutschen Eisenbahnen 215 Millionen Personen befördert, welche 6479 Millionen Personen-Kilometer zurücklegten, und 165 Millionen Tonnen Güter, welche 13487 Millionen Tonnen-Kilometer durchliefen, so dafs auf jeden Kopf der für den Eisenbahnverkehr mafsgebenden Bevölkerung im Durchschnitt 9,5 Personen, welche 285 Personen-Kilometer durchfuhren, und $7^1/_4$ Tonnen Güter kommen, welche 595 Tonnen-Kilometer durchliefen. Die Summe der ab- und zugehenden Personen und Gütermengen ist also jährlich für jeden Kopf der Eisenbahnbevölkerung 19 Personen und $14^1/_2$ Tonnen Güter. In Deutschland ist hiernach der Güterverkehr der Eisenbahnen erheblich, etwa $3^1/_2$mal gröfser, als derselbe nach Michel's Angaben im Jahre 1866 in Frankreich war. Das erklärt sich wohl aus dem Umstande, dafs Michel's Angaben sich auf eine Zeit beziehen, in welcher das französische Eisenbahnnetz noch weit geringere Dichtigkeit als das deutsche Bahnnetz des Jahres 1880 hatte, sodann aus dem erheblichen Antheile, welcher in Frankreich vom Güterverkehr auf die Binnen- und Küstenschifffahrt entfällt, und endlich wohl aus dem Unterschiede der Gewerbthätigkeit beider Länder, welche in Deutschland mehr die Versendung schwerer Güter erfordert. Die Grundziffer des Betriebsüberschusses ist daher für Deutschland, unter der früheren Annahme

eines Betriebsüberschusses von 2 Pfennig für den Personen- oder Tonnen-Kilometer, $c = (19 + 14^1/_2)\,0{,}02 = \frac{2}{3}$ Mark. Auf einer Bahn von l Kilometer Länge, durch welche eine Bevölkerung von E Personen neu in den Eisenbahnverkehr gezogen wird, würde unter der Annahme, dafs der Verkehr die ganze Länge der Bahn durchläuft, ein jährlicher Betriebsüberschufs von $\frac{2}{3}\,El$ zu erwarten sein, und wenn der Verkehr im Durchschnitt nur $^2/_3$ der ganzen Bahnlänge durchläuft, ein Betriebsüberschufs $\frac{4}{9}\,El$. Rechnet man die kilometrischen Anlagekosten der Bahn auch nur zu 80 000 Mk., so würde eine Verzinsung desselben von 5 Prozent eine neu in den Eisenbahnverkehr gezogene Bevölkerung von 6000 bis 9000 Personen erfordern. Da aber in Deutschland im Jahre 1880 nur noch 1078 Orte mit über 2000 Einwohnern und einer durchschnittlichen Bevölkerung von 3400 ohne Eisenbahn waren, so würde wohl nur noch ganz ausnahmsweise eine neue Bahn möglich sein, welche durch ihre eigenen Betriebsüberschüsse die Verzinsung ihres Anlagekapitals deckt.

Allein das von Michel eingeschlagene Verfahren bedarf einer Aenderung. Bei der Ermittelung der Bauwürdigkeit einer in Aussicht genommenen neuen Eisenbahn darf man sich nicht auf die Berechnung des Betriebsüberschusses dieser neuen Linie beschränken, sondern mufs auch den Verkehrszuwachs berücksichtigen, welcher durch die neue Bahnlinie dem bereits vorhandenen Bahnnetze zugeführt wird. Wenn die geplante Bahn auch als eine selbstständige wirthschaftliche Unternehmung keine genügende Rente liefert, so kann sie doch für den Eigenthümer des umgebenden Bahnnetzes oder für den Staat, welcher im Besitze der Eisenbahn ist, eine vortheil-

hafte Unternehmung von genügendem Rentenertrage werden. Von diesem Standpunkte aus ist nicht die Anzahl der Personen und Tonnen, sondern die Zahl der Personen- und Tonnen-Kilometer in Rechnung zu ziehen, welche auf jeden Kopf der neu in den Eisenbahnverkehr gezogenen Bevölkerung kommen. Man erhält in dieser Weise den für das gesammte Eisenbahnnetz auf jeden Kopf der neu in den Verkehr gezogenen Bevölkerung kommenden Betriebsüberschufs zu $0{,}02\,(285+595) = 17{,}6$ Mk. Fast genau den gleichen Werth erhält man, wenn man den Betriebsüberschufs des ganzen deutschen Eisenbahnnetzes, welcher im Jahre 1880 rund 401 Millionen Mark betragen hat, durch die mafsgebende Bevölkerung von $22^3/_4$ Millionen theilt, was einen Betrag von 17,5 Mark auf den Kopf liefert.

Sind die Zinsen des gesammten Anlagekapitals einer neuen Eisenbahn $= Ai$, so ist zur Deckung derselben eine neu in den Verkehr gezogene Bevölkerung E erforderlich, deren Zahl man aus der Gleichung $17{,}6\,E = Ai$ findet, also unter Zugrundelegung eines Zinsfufses von 5 Prozent, zu:

$$E = \frac{1}{352}\,A.$$

Beispielsweise würde hiernach eine Eisenbahn von 10 km Länge, deren Anlagekosten 1 000 000 Mark betragen, schon bauwürdig sein, wenn dadurch eine Bevölkerung von nur 2800 Personen neu in den Eisenbahnverkehr gezogen wird.

Vorausgesetzt ist bei Benutzung der Grundziffer von 17,6 Mark Betriebsüberschufs für den Kopf der Bevölkerung, dafs die wirthschaftliche Bedeutung dieser Bevölkerung eine mittlere sei. Nach Michel's Angaben soll in lediglich

Ackerbau treibenden Gegenden diese Bedeutung auf $^2/_3$ des mittleren Maſses sinken, es erscheint aber wohl vorsichtig, für die wirthschaftliche Bedeutung der Bevölkerung in rein Ackerbau treibenden Gegenden nur die Hälfte des mittleren Werthes anzunehmen, so daſs in diesem Falle die Bauwürdigkeit der Bahn erst als gesichert betrachtet werden kann, wenn $E = \frac{1}{700} A$ ist, wobei A das gesammte Anlagekapital in Mark ist.

Für sehr gewerbfleiſsige Gegenden soll nach Michel die wirthschaftliche Bedeutung der Bevölkerung sich auf das $1^1/_3$ fache der mittleren erheben, so daſs für solche Fälle die Bauwürdigkeit schon bei einer Bevölkerung $E = \frac{1}{260} A$ vorhanden ist.

Zur Ermittelung der für den Eisenbahnverkehr maſsgebenden Bevölkerung muſs nach den angegebenen Erörterungen die Einwohnerzahl der Stationsorte um eine bestimmte Zahl erhöht werden, durch welche der Betheiligung des Hinterlandes am Eisenbahnverkehr Rechnung getragen wird. Mit zunehmender Verdichtung des Bahnnetzes vermindert sich aber der Einfluſs des Hinterlandes auf den Verkehr, da die Stationsgebiete nicht allein kleiner werden, sondern auch die auf der Flächeneinheit wohnende Bevölkerung eine geringere wird. Es muſs auch berücksichtigt werden, daſs durch jede neue Bahn den älteren Bahnen ein Theil ihres Hinterlandes entzogen wird, so daſs eine diesem Verluste der älteren Bahnen entsprechende Personenzahl von der durch die neue Bahn rechnungsmäſsig neu in den Verkehr gezogenen Bevölkerung in Absatz gebracht werden muſs. Diese Erwägungen erschweren die schon sonst so unsichere Bestimmung des Einflusses des Hinterlandes. Zum Glück kann der bei Schätzung dieses

Einflusses zu machende Fehler für das Gesammtergebnifs der Bestimmung der Bauwürdigkeit nicht von grofser Bedeutung werden. Nach Abwägung aller Verhältnisse wird man zur Berücksichtigung des Hinterlandes der Bevölkerung des Stationsortes eine Anzahl $\frac{2}{3} d \,.\, e$ hinzufügen müssen, wobei d die halbe Breite des Stationsgebietes in Kilometern, also der gröfseste Abstand ist, welchen der Verkehr des Hinterlandes bis zur Eisenbahnstation zurückzulegen hat und e die auf den Quadrat-Kilometer des Stationsgebietes angesiedelte Bevölkerung angiebt.

Trägt man nun dem Umstande Rechnung, dafs durch Zweigbahnen der Verkehr aus mancherlei Gründen, z. B. schon wegen der geringeren Anzahl der Züge und wegen der geringeren Fahrgeschwindigkeit, weniger günstig, als durch Hauptbahnen vermittelt wird, so erscheint es geboten, die für das gesammte deutsche Eisenbahnnetz gefundene Grundziffer von 17,6 Mark Betriebsüberschufs für Zweigbahnen auf 15 Mark herabzusetzen. Man erhält dann den Zuwachs an Betriebsüberschufs, welchen eine Zweigbahn mit n Stationen und einer in diesen Stationsorten lebenden Bevölkerung von E Personen liefert zu:

(Gl. 48) . . . . $N = 15\,E + 10\,nde.$

Von diesem Mittelwerthe darf man, wie wiederholt werden mag, in lediglich Ackerbau treibenden Gegenden nur die Hälfte rechnen, kann dagegen in sehr betriebsamen Gegenden das $^4/_3$fache annehmen.

Eine Eisenbahn, welche zwei Stationen erhält, deren Bevölkerung 800 und 2000 beträgt und welche den Verkehr für ein Gebiet vermittelt, das durchschnittlich 7 Kilometer Breite nach jeder Seite der Bahnlinie und eine Bevölkerung von 40 auf den Quadrat-Kilometer hat, wird

hiernach bei mittlerer wirthschaftlicher Bedeutung der Gegend zu einem Betriebsüberschufs:

$$U = 15\,(800 + 2000) + 10 \,.\, 2 \,.\, 7 \,.\, 40 = 47\,600 \text{ Mark}$$

für das gesammte Bahnnetz führen.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dafs diese allgemeine Formel da keine zutreffenden Ergebnisse liefern kann, wo es sich um aufsergewöhnliche Verkehrsverhältnisse handelt, wie z. B. bei Bade- oder Wallfahrsorten, bei Orten, welche wegen landschaftlicher Schönheit oder wegen anderer Sehenswürdigkeiten viel besucht werden, bei Anschlufspunkten an Wasserstrafsen oder bei Orten, an welchen ein Grofsbetrieb mit schweren Massengütern stattfindet. Festgehalten mufs aber auch für solche Ausnahmefälle werden, dafs die Bauwürdigkeit einer Bahn nicht, wie es Michel that und bis jetzt fast allgemein geschah, nach dem auf der neuen Bahn zu erwartenden Betriebsüberschusse beurtheilt werden darf, sondern dafs auch der Verkehrszuwachs und der daraus entstehende Betriebsüberschufs berücksichtigt werden mufs, welchen die neue Bahn dem bereits vorhandenen Bahnnetze zuführt.

Der gemeinwirthschaftliche Nutzen der Eisenbahnen übertrifft den höchsten erreichbaren Betriebsüberschufs noch erheblich; er wurde unter Zugrundelegung einer bestimmten Gesetzmäfsigkeit der Verkehrsdichtigkeit zu dem $2^1/_2$ fachen des Betriebsüberschusses gefunden und wird wahrscheinlich hinter diesem Betrage nicht weit zurückbleiben. Bei der Unsicherheit der für die Berechnung des gemeinwirthschaftlichen Nutzens zu machenden Annahmen mag aber die hier gegebene Nachweisung der privatwirthschaftlichen Bauwürdigkeit genügen. Eine auf Grund dieser Rechnungen vorgenommene Prüfung der in Deutschland noch möglichen neuen Eisenbahnen zeigt, dafs die zweckmäfsigste Dichtig-

keit des Bahnnetzes noch keineswegs erreicht ist, dafs vielmehr unter genügender Verzinsung des Anlagekapitals noch eine Vermehrung auf das 2- bis $2^1/_2$fache des vorhandenen Bestandes durchgeführt werden kann.

§ 18.

Die Wirkungen der Vervollkommnung der Verkehrsmittel.

Die oft erörterten Wirkungen der Vervollkommnung der Verkehrsmittel sind wohl am ausführlichsten und besten in dem schon 1853 veröffentlichten Buche: „Die Eisenbahnen und ihre Wirkungen“ von Karl Knies und in neuerer Zeit von Emil Sax in seinem Werke „Die Verkehrsmittel“ auseinandergesetzt worden. Diese Wirkungen, welche in tiefgreifendster und entscheidungsvollster Weise auf das wirthschaftliche Leben wie auf die Gliederung der Gesellschaft, ja auf die gesammte Kulturentwicklung der Menschheit sich geltend machen, lassen sich nicht leicht in einem Gesammtbilde anschaulich zur Darstellung bringen, weil sie nicht allein sehr mannigfaltiger und weitverzweigter Art sind, sondern oft auch zu geradezu entgegengesetzten Erscheinungen führen.

Während im Allgemeinen durch die Verbesserung der Verkehrsmittel und der damit verbundenen Verminderung der Versendungskosten die Güterpreise billiger werden, tritt dadurch doch für manche Güter, deren Erzeugungsmenge an örtliche Bedingungen gebunden ist und nicht beliebig vermehrt werden kann, eine Preissteigerung ein. Die Verbesserung der Verkehrsmittel, welche in unwiderstehlicher Weise getrennte Stämme eines Volkes zu staatlicher Einheit führt und deren sprachliche Unterschiede ausgleicht, giebt zugleich Völkern, welche bereits durch beherrschende Nationen aufgesogen schienen, neue Lebens-

kraft und bringt Sprachen, welche schon erloschen schienen, zu neuer Blüthe.

Die Vervollkommnung der Verkehrsmittel macht den Massen der Bevölkerung neue Genufsmittel zugänglich und führt zu einer wesentlichen Verbesserung ihres Lebenslooses und zugleich vernichtet sie schonungslos die behagliche Selbständigkeit des Handwerkers und des Bauern. Die Eisenbahnen und Dampfschiffe, durch welche die Sicherheit und Annehmlichkeit des Reisens so wesentlich erhöht wurde, führen gleichwohl zu Unglücksfällen von einer früher kaum geahnten Entsetzlichkeit. Die Vervollkommnung der Verkehrsmittel verleiht der Staatsgewalt eine aufserordentliche Kräftigung, aber sie begünstigt auch alle staatsfeindlichen Bestrebungen und erleichtert dem Verbrecher die Flucht.

Alle die mannigfaltigen, oft in entgegengesetzten Erscheinungen sich darstellenden Wirkungen sind dennoch auf die gleiche einfache Gesetzmäfsigkeit zurückzuführen, nämlich auf die Abschwächung der Bedeutung räumlicher Entfernung. Die Herrschaft über den Raum wird erweitert und dadurch jede Thätigkeitsäufserung, welche in räumlichen Schranken die Grenzen für ihre Entfaltung fand, erweitert und gefördert, dagegen jede Wirksamkeit, welche des Schutzes räumlicher Abgeschiedenheit bedarf, eingeschränkt und geschwächt.

Als unmittelbare Folge der Verbesserung der Verkehrsmittel entsteht eine Erhöhung des Lebensgenusses, da die Anstrengungen, welche aufgewendet werden müssen, um in den Besitz der wirthschaftlichen Güter zu gelangen, sich vermindern. Bei unverändert bleibender Gröfse der Arbeitsleistung mufs nach Verbesserung der Verkehrsmittel durschnittlich eine

gröfsere Genufsmenge als früher gewonnen werden. Von noch gröfserem Einflusse auf das Wohlergehen der Menschheit ist die Verringerung der zeitlichen Preisschwankungen, welche durch die Vervollkommnung der Verkehrsmittel bewirkt wird. Der Preis eines Gutes kann für eine gegebene Oertlichkeit nicht höher werden als der Kostenbetrag, für welchen es aus der Ferne zu beziehen ist, also als der Einfuhrpreis, und nicht niedriger werden als der Betrag, zu welchem es auswärts Abnahme findet, also als der Ausfuhrpreis. Das Mafs dieser Preisschwankung, also der Unterschied zwischen dem Einfuhr- und Ausfuhrpreise, ist gleich dem doppelten Betrage der Versendungskosten zwischen dem In- und Auslande, mufs sich also mit der Verbesserung der Transportmittel ohne Weiteres verringern. Je geringer aber der Unterschied zwischen Ein- und Ausfuhrpreis wird, je mehr mufs die Zahl der Boden- und Gewerbserzeugnisse sich mehren, welche trotz des verschiedenen Ernteausfalles oder trotz wechselnder Herstellungskosten dauernd zur Ausfuhr gelangen oder dauernd einer Einfuhr ausgesetzt sind. Für diese Güter bewegen sich aber die Preisschwankungen nicht mehr zwischen dem Ein- und Ausfuhrpreise, sondern der Preis ist nur den Schwankungen des Einfuhrpreises einerseits oder denen des Ausfuhrpreises andrerseits unterworfen. Die gröfsere Stetigkeit der Preise vermindert die vielfachen aus Preisschwankungen entstehenden Uebelstände und beseitigt die Gefahren grofser Theuerungen oder gar der Hungersnoth.

Die so segensreiche Verminderung der zeitlichen Preisschwankungen macht die Einkünfte des Landwirthes allerdings in erhöhtem Mafse veränderlich und abhängig vom Ernteausfalle. Seine durchschnittliche Jahreseinnahme leidet aber durch Verbesserung der Verkehrsmittel nur

beim Anbau von Früchten, welche der Einfuhr ausgesetzt sind, sei es, dafs auf dem heimischen Boden diese Erzeugnisse nicht in genügender Menge oder nicht unter günstigen Verhältnissen gewonnen werden können. So sehr jede Verkehrsverbesserung, welche die Zufuhr von Aufsen erleichtert, in solchem Falle schädigend für die Landwirthschaft wirken mufs, so sehr wird der Anbau von Früchten, welche zur Ausfuhr gelangen, durch jede Verbesserung des Verkehrs, welche die Ueberführung auf fremde Märkte erleichtert, sich in erhöhtem Mafse lohnend erweisen.

Die fortschreitende Vervollkommnung der Verkehrsmittel wird den Landwirth daher zwingen, immer mehr sich dem Anbau solcher Erzeugnisse zuzuwenden, welche zur Ausfuhr gebracht werden können, und jede Bewirthschaftungsart aufzugeben, welche mit der Einfuhr fremder Güter zu kämpfen hat. Es mufs sich die Landwirthschaft mit der Verbesserung der Verkehrsmittel immer entschiedener der Gewinnung solcher Erzeugnisse zuwenden, für welche die Bodenbeschaffenheit und das Klima die günstigsten Bedingungen bieten, und den Anbau von Früchten, für welche die örtlichen Verhältnisse weniger günstig sind, aufgeben. Während bei unentwickelten Verkehrsverhältnissen alle Bedürfnisse auf dem eigenen Acker gewonnen werden müssen, so weit Klima und Bodenbeschaffenheit nur irgend gestatten, gelangt mit der Vervollkommnung der Verkehrsmittel jede Eigenart des Bodens zu ihrer vollen Bedeutung und besten Ausnutzung. Es mufs sich für die Landwirthschaft mit immer zunehmender Schärfe eine örtliche Arbeitstheilung ausbilden.

In gleichem oder vielleicht in noch höherem Mafse mufs die angegebene Wirkung auf dem Gebiete der Ge-

werbthätigkeit sich vollziehen. Die unter günstigen Bedingungen arbeitende Gütererzeugung erweitert mit der Verbesserung der Verkehrsmittel ihr Absatzgebiet auf Kosten benachbarter Orte der Gütererzeugung, welche weniger günstige Grundlagen bieten. Der in ungünstigerer Lage befindliche Unternehmer konnte sich nur halten, so lange er des wirksamen Schutzes schlechter Wege genofs; er wird, sobald er durch Verbesserung der Verkehrsmittel für den stärkeren Gegner erreichbar wird, leicht besiegt und vernichtet, wie eine Festung jede Bedeutung verliert, sobald die Geschütze eine Tragweite erlangt haben, welche eine Beschiefsung von benachbarten Bergen möglich macht.

Durch die für den günstiger belegenen Gewerbebetrieb durch die Verbesserung der Verkehrsmittel eintretende Erweiterung des Absatzgebietes erhöht sich der Gewinn und dadurch der Anreiz zur Errichtung neuer in Wettbetrieb tretender Unternehmungen an demselben Orte. Mit dem Anwachsen der Zahl der Unternehmer mufs der Gewinnzuschlag, also der Güterpreis, ermäfsigt werden, um einen erweiterten Absatz zu gewinnen, was zu weiterer Zurückdrängung des von fremden Orten ausgehenden Wettbewerbes führt.

So bilden sich für die verschiedenen Zweige des Gewerbebetriebes besondere Standorte aus, welche für den betreffenden Betrieb die günstigsten Bedingungen bieten. Diese örtliche Gruppirung der Gewerbszweige gewährt für die Vervollkommnung der Arbeitsvorgänge, für die Ausbildung eines tüchtigen Arbeiterstammes, für den Handelsverkehr u. s. w. so entschiedene Vortheile, dafs sie sich, wenn einmal eingeleitet, in immer schärferer Weise vollzieht. Hierdurch wird auch die Arbeitstheilung entschieden gefördert. Es findet eine Zerlegung der Gewerbthätigkeit in eine Reihe selbstständiger, stufen-

weise auf einander sich stützender Betriebe statt; es treten z. B. an Stelle einer Wollwaarenfabrik, welche die Waare von der Wollwäsche bis zur Versendung fertig stellt, jetzt besondere Wollwäschereien, Kämmereien, Spinnereien, Färbereien, Webereien, Appreturanstalten u. s. w. In der Nähe des Sitzes einer bestimmten Gewerbthätigkeit siedeln sich dann auch die Hülfsgewerbe an, so daſs der ganze wirthschaftliche Charakter einer Gegend sich dem herrschenden Gewerbszweige anschlieſst. Es führt also auch für den Gewerbebetrieb wie für die Landwirthschaft die Vervollkommnung der Verkehrsmittel zu einer schärferen Ausprägung örtlicher Eigenart.

Durch die Erweiterung des Absatzgebietes gewinnt besonders die Ausbeute der mineralischen Bodenschätze, welche wegen ihres groſsen Gewichtes früher nur auf geringe Entfernungen versendet werden konnten, einen ganz auſserordentlichen Umfang. Manche dieser Bodenschätze, welche jetzt eine stetige Vergröſserung des Volkswohlstandes herbeiführen, wurden überhaupt erst mit der Vervollkommnung der Verkehrsmittel der Ausnutzung erschlossen.

Wie die auf Gewinnung der Mineralschätze gerichteten Betriebe, so nehmen auch die örtlich gruppirten Gewerbezweige die Verhältnisse des Groſsbetriebes an. Die alten Ueberlieferungen des Handwerks werden unhaltbar, die Fesseln zünftiger Gliederung werden gesprengt; die Werkstätten erweitern sich zu Fabriken. Die im zünftigen Handwerk in sich fest gegliederte, wenn auch auf beschränkter Grundlage aufgebaute Ordnung der Arbeit löste sich auf und mit ihr die streng geordnete Gliederung der menschlichen Gesellschaft, ohne daſs sofort neue befriedigende Formen dafür gefunden werden konnten. Eine so gewaltige, in alle wirthschaftlichen und gesellschaftlichen Zustände

tief eingreifende Umbildung kann sich nicht mit einem Schlage, nicht ohne langdauernde, hin- und herschwankende Kämpfe vollziehen. Unvermeidlich sind auf der einen Seite über ein vernünftiges Ziel hinausgehende Forderungen, auf der andern Seite ein allzustarres Festhalten an hergebrachten Einrichtungen. Aber die Beschwerden und Gefahren des Kampfes dürfen nicht zu einer Ueberschätzung des behaglichen Friedens der „guten, alten Zeit“ verleiten, sie dürfen die Erkenntnifs des grofsen wirthschaftlichen und kulturgeschichtlichen Fortschritts nicht trüben, welcher durch die Ausbildung des Grofsbetriebes sich vollzogen hat. Der in allen seinen Folgen kaum genügend zu würdigende Fortschritt, welcher allein durch die Einführung des Grofsbetriebes möglich war, besteht in der Ersetzung der menschlichen Handarbeit durch die Maschinenarbeit der Naturkräfte. Das Menschengeschlecht ist dadurch, wenn nicht ganz und gar erlöst, so doch wesentlich erleichtert von der qualvollen harten Arbeitslast, unter welcher es Jahrtausende lang seufzte. Viele nützliche Güter, welche früher wegen ihres hohen Preises nur von wenigen Begünstigten erlangt werden konnten, wurden durch die billigere Maschinenarbeit einem allgemeinen Gebrauche zugänglich. Der Lebensgenufs wird sowohl durch Erlösung von den Leiden harter Arbeit, wie durch Zuführung neuer Genufsmittel für weite Schichten der menschlichen Gesellschaft erhöht.

In dem durch die Verkehrsverbesserungen verschärften Wettkampfe der Gütererzeugung kann der Sieg nur durch Vervollkommnung der Arbeitsvorgänge errungen werden, welche eine Verbesserung der Beschaffenheit oder eine billigere Herstellung der Güter herbeiführen. Die zu diesem Ziele führende vielseitige und nachhaltige Anspannung der

Geistesthätigkeit kann aber einen der Gröfse der Anstrengungen entsprechenden Gewinn nur beim Grofsbetriebe finden, worauf sich weitere segensreiche Wirkungen des Grofsbetriebes begründen. Die für den Grofsbetrieb gewonnene Vervollkommnung der Arbeitsvorgänge kommt dann auch denjenigen Gewerben zu gute, welche ihrer Natur nach dauernd nur im Kleinen betrieben werden können, sei es dafs ihre Erzeugnisse dem Verderben zu rasch ausgesetzt sind oder dafs sie nach persönlich verschiedenen Anforderungen hergestellt werden müssen oder dafs zu ihrer Anfertigung eine künstlerische Begabung erforderlich ist.

Keineswegs ist aber der Grofsbetrieb als ein in jeder Beziehung segensreicher Fortschritt zu bezeichnen. Der mit Rücksichtslosigkeit geführte Kampf gegen das Kleingewerbe wie auch der verschiedenen Unternehmer des Grofsbetriebes unter sich vernichtet den Reichthum und das Glück vieler Einzelner und schädigt den Volkswohlstand oft in empfindlicher Weise. Die Beschränkung der wirthschaftlichen Selbstständigkeit grofser Massen der Bevölkerung bringt ernste Gefahren mit sich für das gesammte Staatsleben, für die gesellschaftlichen Zustände, für das Sitten- und Familienleben. Die Wirthschafts- und Socialpolitik darf diesen Gefahren gegenüber sich nicht auf den Standpunkt des „Gehen- und Geschehen-Lassens“ stellen, sondern sollte, so weit nur immer möglich, schützend und überwachend eingreifen.

Wie beim Gewerbebetriebe so mufs sich, wenn auch nicht in gleich zwingendem Mafse, durch die Verbesserung der Verkehrsmittel in der Landwirthschaft mehr und mehr der Übergang zum Grofsbetriebe vollziehen. Der landwirthschaftliche Betrieb kann gegenüber der erleichterten Einfuhr nur durch die äufserste Ermäfsigung der Betriebskosten

sich halten, was die Einführung der Maschinenarbeit nöthig macht, die aber nur beim Grofsbetriebe in genügendem Mafse durchführbar ist. Es kommt aber noch der schon erwähnte Umstand hinzu, dafs der Preis der Bodenerzeugnisse bei ausgebildeten Verkehrsverhältnissen sich durch den Weltmarkt regelt und innerhalb enger Grenzen hält, so dafs der Reinertrag der Landwirthschaft in erheblichem Mafse mit dem Ernte-Ausfall schwankt. Dieser Wechsel in der Jahreseinnahme kann nur der grofse, mit Kapital oder Kredit hinreichend ausgestattete Grundbesitzer ertragen, während der kleine Landwirth dadurch leicht dem Wucherer in die Hände fällt und zu Grunde gerichtet wird. Auch hier mufs, wie im Gewerbewesen, eine gesunde, mit Klarheit und Thatkraft durchgeführte Wirthschaftspolitik alle Mittel anwenden, um die unverkennbaren Segnungen des Grofsbetriebes zu sichern, ohne die aus demselben erwachsenden unheilvollen Folgen für die gesellschaftliche Ordnung und die menschliche Wohlfahrt eintreten zu lassen.

Der Landwirthschaft droht aus der durch die Verbesserung der Verkehrsmittel veranlafsten Umbildung der Ansiedelungsverhältnisse eine weitere Gefahr. Bei unentwickelten Verkehrsverhältnissen hatte die städtische Bevölkerung unter den starken Schwankungen des mit dem örtlichen Ernteausfalle sich ändernden Preises der Nahrungsmittel oft schwer zu leiden, während die ländliche Bevölkerung nur verhältnifsmäfsig geringen Schwankungen in ihrer Einnahme ausgesetzt war, da sich bei Mifsernten der Preis erhöhte, wie er sich bei reichen Ernten ermäfsigte. Die Städte waren gezwungen, um sich gegen diese Mifsstände einigermafsen zu schützen, so weit möglich, selbst Ackerbau und Viehzucht zu treiben, wodurch das Anwachsen ihrer Bevölkerung in mäfsigen Grenzen sich halten mufste.

Auch die Beschränktheit des Absatzgebietes für die Erzeugnisse der Gewerbthätigkeit verhinderte ein gröfseres Wachsthum der Städte. Sie konnten früher nur dort, wo durch Wasserstrafsen gute natürliche Verkehrsverbindungen gegeben waren, zu einer gröfseren Ausdehnung und Blüthe gelangen.

Mit der Vervollkommnung der Verkehrsmittel gestalteten sich die Verhältnisse zwischen Stadt und Land vollständig umgekehrt. Die jetzt nicht mehr von dem örtlichen Ernteausfalle abhängigen, sondern auf dem Weltmarkte in gleichmäfsigerer Höhe sich haltenden Preise der Bodenerzeugnisse sichern der städtischen Bevölkerung einen geregelteren Lebensunterhalt, während das Wohlergehen der ländlichen Bevölkerung von dem wechselnden Ernteergebnisse abhängig wird. Eine Masseneinwanderung der Landbevölkerung in die Städte, welche bei der Erweiterung der Gewerbethätigkeit den Zuzug neuer Arbeitskräfte begünstigen, war die Folge dieser Zustände. Die hierdurch entstehende noch durch Auswanderung in das Ausland zunehmende Verdünnung der Bevölkerung des flachen Landes wird für die Landwirthschaft in erhöhtem Mafse die Einführung des Maschinenbetriebes nöthig machen und das Verschwinden des kleinen Grundbesitzes beschleunigen.

Das Wachsthum der Städte führt unstreitig zu einem rascheren Gange der Kulturentwicklung, veranlafst die Ausführung der umfassendsten Einrichtungen zur Förderung der Gesundheit, Bequemlichkeit und Annehmlichkeit, wirkt in lebhaftester Weise fördernd auf alle Zweige der Kunst und Wissenschaft. Aber die mit der Verdichtung der Bevölkerung zunehmende Heftigkeit des Kampfes um das Dasein, die aus der Hast zu erwerben und aus der Sucht zu geniefsen entstehende, bis zu Ueberreizung, Lastern und

Verbrechen führende Unruhe sind gewifs nicht zu den segensreichen Folgen der Vervollkommnung der Verkehrsmittel zu rechnen. Aber entmuthigend ist auch diese Erscheinung nicht, denn das Schlechte hat den Schutz der Verborgenheit und Abgeschlossenheit verloren und ist dadurch ausfluchtslos unter die Macht des Gesetzes gebracht.

Auf rein politischem Gebiete zeigt sich die Verbesserung der Verkehrsmittel zunächst als fördernd für die Bildung grofser Staaten. Aber die grofsen Staatengebilde werden dadurch nur gestärkt und vergröfsert, so weit es sich um Zusammenfassung einheitlich nationaler Volksmassen handelt. Jede Beimischung fremder Volksstämme gewinnt durch die Verbesserung der Verkehrsmittel neue Widerstandskraft gegen Aufsaugung und Verschmelzung durch das herrschende Volk. Wie das Schiefspulver, wenn es in einzelnen Körnchen in einer Sandmenge vertheilt ist, nicht gefährlich werden, aber arge Sprengwirkungen veranlassen kann, wenn die einzelnen Körner in Berührung kommen, welche eine gleichzeitige Entzündung ermöglicht, so werden staatsfeindliche Bevölkerungstheile, welche bei unentwickelten Verkehrsverhältnissen zu geschlossenem Wirken sich nicht vereinigen konnten und daher ohne Schwierigkeit niedergehalten wurden, durch den erleichterten Verkehr zu vereintem Widerstande fähig und kräftig. Jede fremde Beimischung in einem Volke, welche früher kaum bemerkt und nicht unangenehm empfunden wurde, macht sich nach der Verbesserung der Verkehrsmittel wie ein Pfahl im Fleische fühlbar, wie das in einer Speise vertheilte Salz als angenehme Würze dient, aber widerwärtig sein würde, wenn es in einem zusammenhängenden Stückchen darin vorkäme. Verschiedene Völker, die früher in leidlichem Frieden gemischt ein Land bewohnten, gerathen mit der Verbesserung der Verkehrs-

mittel in einen Kampf, der nur mit der Verdrängung des einen oder anderen Volkes enden kann. Aehnliche Folgen zeigen sich sogar, wenn auch nicht in gleicher Schärfe, für das Zusammenleben der Anhänger verschiedener Religionsbekenntnisse. So führt in gleicher Weise wie auf wirthschaftlichem Gebiete die Verbesserung der Verkehrsmittel auch für die Siedelungsgebiete der Völker zu einer örtlich schärferen Gruppirung.

Die Eigenart der Oertlichkeit gewinnt also in jeder Beziehung eine schärfere Ausprägung und erhöhte Bedeutung durch dieselben Ursachen, welche die Wirkung räumlicher Entfernung abschwächen und den Menschen von örtlicher Gebundenheit loslösen. Die jetzt erreichte Leichtigkeit der Ortsveränderung hat dem Menschen eine erheblich gesteigerte Herrschaft über die Natur gegeben, ihn zu einer höheren Art der Lebensthätigkeit geführt. Alle Naturschönheiten, alle Schätze des Wissens und der Kunst, welche früher nur wenigen Begünstigten zugänglich waren, werden mehr und mehr zum Gemeingut der ganzen Menschheit. Keime geistigen Lebens, welche früher da, wo sie entstanden, auch meistens ihr Grab fanden, finden in erweitertem Umlauf den günstigen Boden für ihre Entwicklung.

Theorie des Trafsirens

von

Wilhelm Launhardt,
Geheimer Regierungsrath,
Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover.

Heft II.

Die technische Trafsirung der Eisenbahnen.

Mit 23 Holzschnitten.

Hannover.
Schmorl & von Seefeld.
1888.

Druck von Carl Küster, Hannover.

Vorwort.

Während in dem ersten Hefte der Theorie des Trafsirens die Aufgabe lediglich vom volkswirthschaftlichen Standpunkte als „kommerzielle Trafsirung“ aufgefafst wurde, sollen nun die technischen, von der Gestaltung und Beschaffenheit des Bodens sowie von der Bauart und Betriebsweise abhängigen Verhältnifse in volle Berücksichtigung gezogen werden. Die Behandlung ist für Eisenbahnen und Strafsen getrennt und zwar in diesem zweiten Hefte für die Eisenbahnen durchzuführen.

Die bauliche Anordnung des Gleises, des Bahnkörpers und aller Bauwerke wird dabei als feststehend angenommen, wie auch die geodätische Aufnahme und Darstellung des Geländes und der Bodengestaltung nebst den Untersuchungen über die Bodenbeschaffenheit als gegeben betrachtet werden.

Die technische Trafsirung der Eisenbahnen soll alle Erwägungen, rechnerischen Untersuchungen und aus Erfahrungen abgeleiteten Regeln und Vorschriften umfafsen, welche bei Beurtheilung und bei Entscheidung über die Wahl des Linienzuges einer Eisenbahn in Betracht kommen. Alle technischen Verhältnifse sind hierbei stets von dem weiteren wirthschaftlichen Standpunkte aufzufafsen und zu beurtheilen.

Die Feststellung des gesammten Linienzuges und aller Einzelheiten der Gestaltung der Trafse in Grundrifs- und Höhenlage soll durch die Theorie des Trafsirens der Schätzung nach practischem Ermessen und Dafürhalten entzogen und, so weit durchführbar, auf eine Begründung durch mathe-

matische Rechnung zurückgeführt werden. Die Aufgaben des Trafsirens werden dadurch keineswegs zu blofsen Rechenaufgaben, sondern erfordern in einem Grade wie kaum eine andere technische Aufgabe eine umfafsende Ueberlegung und klar abwägende Beurtheilung der vielseitigsten wirthschaftlichen und technischen Rücksichten, wobei die Rechnung nur als Werkzeug dient.

Besondere Umsicht erfordert die Feststellung mancher, den Rechnungen zu Grunde zu legenden Zahlenwerthe, da einige derselben in Preisen bestehen, welche zeitlichen wie örtlichen Schwankungen unterworfen sind, andere sich auf einen zukünftigen Zustand beziehen, welcher nur nach Muthmafsung geschätzt werden kann. Dafs bei der Feststellung einzelner der bestimmenden Gröfsen Unsicherheiten unvermeidlich sind, liegt in der Natur der Aufgabe und kann den Werth der theoretischen Untersuchungen nicht abschwächen, durch welche für die sonst oft nur auf ein verschwommenes Dafürhalten gegründete Beurtheilung eine klare und gesetzmäfsige Schlufsfolgerichtigkeit gewonnen wird.

Hannover, April 1888.

Wilh. Launhardt.

Inhalts-Verzeichniss.

Abschnitt I.

Die Betriebskosten der Eisenbahnen in Abhängigkeit von der Länge, Krümmung und Neigung der Trafse.

		Seite
§ 1.	Einleitung	1
§ 2.	Zerlegung der Bau- und Betriebskosten der Eisenbahnen für die Aufgaben des Trafsirens	7
§ 3.	Bahnkosten	9
§ 4.	Fahrdienstkosten	11
§ 5.	Zugkraftskosten	18
§ 6.	Stations- und Expeditionskosten	28
§ 7.	Zug-Widerstand	30
§ 8.	Die Zugkraft der Lokomotiven	37
§ 9.	Mafsgebende Steigung, schädliche und unschädliche Steigungen	39
§ 10.	Die Betriebskosten der Strecke	41
§ 11.	Gleichwerthige Steigung	45
§ 12.	Bestimmung des Zugkraftskoeffizienten	49
§ 13.	Näherungsformeln für die Berechnung der Betriebskosten und Kosten des Zugkilometers	56
§ 14.	Berechnung der Betriebskosten für den Fall, dafs der Verkehr in beiden Richtungen nicht gleich grofs ist	62

Abschnitt II.

Untersuchungen über die zweckmäfsigste Anordnung der Einzelheiten der Trafse.

§ 15.	Einleitung	70
§ 16.	Breite und Breiten-Eintheilung der Bahn	72
§ 17.	Eingleisige und zweigleisige Bahn	79
§ 18.	Normalspur oder Schmalspur	83
§ 19.	Die Krümmungsverhältnifse	94
§ 20.	Uebergangskurven	99
§ 21.	Wahl der Krümmungshalbmesser	112
§ 22.	Die Höhenlage der Trafse	122

Seite
§ 23. Zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung 136
§ 24. Zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung ohne Längen-Entwicklung 150
§ 25. Zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung bei Vorspanndienst oder bei Theilung der Züge 153
§ 26. Anlaufsteigung 160
§ 27. Verlorene Steigung 165
§ 28. Die Entfernung der Stationen 170
§ 29. Virtuelle Länge 180
§ 30. Virtuelle Steigung 188

Abschnitt III.

Feststellung der Trafse.

§ 31. Allgemeine und ausführliche Trafsirung 192
§ 32. Trafsirung im Flachlande 200
§ 33. Trafsirung im Hügellande 206
§ 34. Beurtheilung der Bauwürdigkeit zweier zur Wahl stehenden Trafsen im Hügellande 220
§ 35. Trafsirung im Gebirge 223
§ 36. Gebundene und gebrochene Steigung 240
§ 37. Die Längen-Entwicklung der Trafse 248
§ 38. Die Aufsuchung der Trafse im Schichtenplane 254

Verzeichnifs

der Bezeichnung der wichtigsten vorkommenden Gröfsen.

A Kilometrische Anlagekosten der Bahn.

B_0 Der, von der Zugkraftsleistung unabhängige Theil der Kosten eines Locomotivkilometers.

B_1 Kosten eines Lokomotivkilometers bei gröfster Zugkraftleistung der Lokomotive.

$B = {}^1/_2 (B_0 + B_1)$ mittlere Kosten eines Lokomotivkilometers.

L Gewicht der Lokomotive und des Tenders in Tonnen.

Q Gewicht des Zuges, ausschliefslich der Lokomotive und des Tenders, in Tonnen.

P Anzahl der jährlich beförderten Personen.

T Anzahl der jährlich beförderten Tonnen Nutzlast.

U Kilometrische Kosten der Bahn-Unterhaltung und Bewachung.

Z Zugkraft der Lokomotive in Tonnen.

a Kostenbetrag für den Lokomotiv-Km, welcher durch die Leistung einer Tonne Zugkraft entsteht,
oder

a der von der Geschwindigkeit unabhängige Theil des Widerstandskoeffizienten $w = a + bv^2$.

b Der Ladungskoeffizient, das heifst das Verhältnifs der Rohlast, ausschliefslich der Lokomotive und des Tenders, zur Nutzlast,
oder

b die Zahl, mit welcher das Quadrat der Geschwindigkeit multiplizirt werden mufs, um die Abhängigkeit des Widerstandskoeffizienten $w = a + bv^2$ von der Geschwindigkeit anzugeben.

c Der Kurven-Widerstandskoeffizient.
e Zahl, mit welcher das stärkste Neigungsverhältnifs multiplizirt werden mufs, um die Bremserkosten für einen Tonnen-Km Rohlast zu erhalten.
f Fahrdienstkosten für den Tonnen-Km der Rohlast.
g Beschleunigung der Schwerkraft.
h Zu ersteigende Höhe in Kilometern.
i Zinsfufs.
l Länge in Kilometern.
m Spurmafs.
r Krümmungshalbmesser in Metern,
oder
r Verhältnifs der Verkehrsmenge der Nebenrichtung zu der in der Hauptrichtung.
s Mafsgebende Steigung.
s_0 Unschädliche Steigung.
s_1 Schädliche Steigung.
s_{11} Gleichwerthige Steigung.
v Geschwindigkeit des Zuges in Metern.
w Widerstandskoeffizient des Zuges.
z Zugkraftskoeffizient der Lokomotive.
α Centriwinkel der Kurven in Graden.
α_0 Centriwinkelsumme der Kurven in unschädlichen Steigungen.
α_1 Centriwinkelsumme der Kurven in schädlichen Steigungen.

Abschnitt I.

Die Betriebskosten der Eisenbahnen in Abhängigkeit von der Länge, Krümmung und Neigung der Trafse.

§ 1.

Einleitung.

Die auf Grund der Verkehrsverhältnisse unter Voraussetzung einer gleichartigen, horizontalen Bodenbeschaffenheit ermittelte kommerzielle Trafse ist mit Rücksicht auf den Betrieb und unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit mehr oder minder erheblichen Veränderungen zu unterziehen, durch welche sie zur technischen Trafse wird.

Von den Betriebsverhältnifsen sind aufser der Menge und Art der zu befördernden Lasten auch die Bauart der Fuhrwerke sowie die Beschaffenheit und Verwendungsweise der Betriebskräfte auf die Gestaltung der Trafse von entscheidendem Einflufse.

Von den Boden-Verhältnifsen kommen in Betracht:

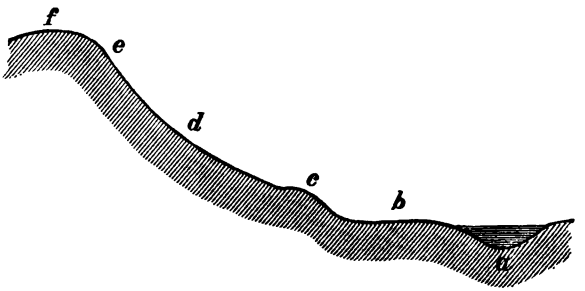
1. Die Gestaltung des Bodens. Diese wird durch einen Schichtenplan dargestellt, auf welchem in bestimmten, gleichen Höhen-Abständen die Punkte gleicher Höhenlage durch zusammenhängende Linienzüge verbunden sind, welche man als Schichtenlinien oder Horizontalkurven bezeichnet.

Zieht man in dem Schichtenplane Linien, welche die Horizontalkurven rechtwinklig kreuzen, so erhält man die Linien des stärksten Gefälles, die in unbegrenzter Fortsetzung einen wechselnd auf- und niedersteigenden Linienzug bilden. Durch Verbindung der oberen Beugungspunkte

der nebeneinander liegenden Linien des stärksten Gefälles, findet man die Linien der Wasserscheiden, und durch Verbindung der unteren Beugungspunkte der Linie des stärksten Gefälles die Thalwege.

Der Längenschnitt einer Linie des stärksten Gefälles zeigt in unmittelbarer Umgebung des Thalweges (Fig 1.) das Flufsbett mit seinen Uferlinien, daran anschliefsend den schwach ansteigenden Thalboden *b*, welcher durch das Hochufer *c* begrenzt wird, von welchem aus der Thalhang *d* in der Regel nach oben hin steiler werdend, ansteigt. Der Thalhang

Fig. 1.



wird oben von einer oft durch Klippen ausgezeichneten Kante begrenzt, welche man Thalsaum *e* nennt und von welcher ab der Bergrücken *f* in der Regel in flacherer Wölbung bis zur Wasserscheide ansteigt. Die hier beschriebene allgemeine Gestaltung tritt freilich nicht immer in allen Einzelheiten in voller Schärfe kervor.

Die Thalwege haben von ihrem oberen Endpunkte ab, wo sie gegen eine Wasserscheide stofsen, bis zu ihrem unteren Ende, wo sie in einen Thalweg gröfserer Ordnung oder in den Meeresboden ausmünden, im Allgemeinen ein von oben nach unten abnehmendes Gefälle. Innerhalb dieser allgemeinen Gesetzmäfsigkeit kommen aber auch flacher geneigte Strecken oder umgekehrt auch steilere Abstürze vor, welche Thalstufen,

Stromschnellen oder Wasserfälle bilden. Zuweilen steigen die Thalwege streckenweise auch in der Richtung des allgemeinen Gefälles, was zur Entstehung von Seen führt.

Auch die Wasserscheiden haben im Allgemeinen ein von oben nach unten abnehmendes Längegefälle, jedoch in weit geringerer Regelmäfsigkeit als die Thalwege, indem sie auch vielfach einen auf- und niedersteigenden Linienzug bilden. Die tiefsten Einsenkungen in den Linien der Wasserscheiden werden Pafs, Sattel, Col, Furka, Scheideck u. s. w. genannt, die höchsten Erhebungen derselben, je nach ihrer Form als Kuppe, Krone, Gipfel, Kamm, Egge, Horn, Kegel, Spitze, Nadel, Pic u. s. w. bezeichnet.

Die von Wasserscheiden umgrenzte Grundfläche, welche die Niederschläge einem bestimmten Wasserlaufe zusendet, heifst ein Niederschlagsgebiet; und je nach der Bedeutung des Wasserlaufs Bach-, Flufs- oder Stromgebiet. Das gröfste Niederschlagsgebiet in Europa ist das der Wolga, welches bei einer Länge von etwa 3400 Km eine mittlere Breite von 500 Km, also eine Flächengröfse von etwa 1700000 Quadratkilometer hat.

Die Boden-Erhebungen nennt man nach ihrer Höhe: Höhenzüge (bis 150 Meter Höhe), Hügel (zwischen 150 und 300 Meter Höhe), oder Berge (über 300 Meter) und die Thäler nach der Höhe der eingrenzenden Wasserscheiden: Landthal, Hügellandsthal oder Gebirgsthal oder auch nach ihrer Gestaltung: Schluchten, Rifse, Klammen, Klüfte, Mulden, Becken u. s. w.

Unter annähernder Festhaltung der erwähnten Höhen-Abstufungen (unter 150 Meter, zwischen 150 und 300 Meter, über 300 Meter) unterscheidet man: Tiefebenen, mittelhohe Ebenen und Hochebenen und ferner Flachländer, Hügellandschaften und Gebirge. Bleibt die Boden-

gestaltung auf grofse Ausdehnung, etwa über 5000 qkm, innerhalb gleicher Höhenunterschiede, so tritt die Bezeichnuug Tafelland ein, wobei man niedrige, mittelhohe und hohe Tafelländer unterscheidet.

2. Die geognostische Beschaffenheit des Bodens. Die geognostischen Untersuchungen sind nicht allein auf die Bestimmung der geologischen Formation, welche Schlüfse auf das Vorkommen brauchbarer Baustoffe liefert, sowie auf die Feststellung der Gesteins- und Bodenarten zu erstrecken, sondern auch auf die Ermittelung der Tragfähigkeit, der Wetterbeständigkeit, der Wasserführung und der Lösbarkeit des Bodens sowie auf das Streichen und Einfallen der Schichten zu richten. Unter dem Streichen versteht man die Richtung der auf der Schichtoberfläche gezogen gedachten Horizontalkurven, unter dem Einfallen die Neigung der auf der Schichtoberfläche gezogen gedachten Linien des stärksten Gefälles gegen die Horizontale.

In Bezug auf die Lösbarkeit unterscheidet man:

a. Lockere oder rollige Bodenarten, welche mit der Schaufel, unter Umständen nach Auflockerung durch die Breithacke gelöst werden können, wie z. B. Sand, Kies, Grand, Gerölle, Lehm, magere Garten- und Ackererde.

b. Milde Bodenarten oder Stichboden, welche mit dem Spaten gelöst und mit diesem in zusammenhängenden Stücken geworfen werden können, wie fette Garten- und Ackererde, fetter Lehm, leichter Thonboden, Klai.

c. Gebräche Bodenarten, welche durch Brechstangen, Spitzhacken oder Keile gelöst werden müssen, wie z. B. Mergel, fester Thon, Trümmergestein, gebundener Kies.

d. Schiessbare Bodenarten, welche durch Sprengmittel gelöst werden müssen, wozu aufser dem Felsboden auch dicht und fest gelagerte Bodenarten gehören.

Bei Ermittelung der Tragfähigkeit des Bodens ist besonders zu untersuchen, ob Rutschungen zu befürchten sind. Die Rutschungen können aus zwei verschiedenen Ursachen entstehen, indem entweder der Boden durch Wasseraufnahme seine Standfestigkeit verliert und in dickflüfsigen Zustand geräth, oder indem auf der geneigten Oberfläche einer wasserundurchlässigen Schicht, welche durch das abfliefsende Wasser schlüpfrig wird, die auflagernden Bodenmassen, welche an sich oft grofse Standfestigkeit haben können, abrutschen.

Endlich ist die Bodenuntersuchung auch auf das für die Trafsirung allerdings wohl nur ausnahmsweise in Betracht kommende Vorkommen von Baustoffen, wie Bruchsteine, Mauersand, Bettungskies u. s. w. zu erstrecken.

3. Klima- und Wetterverhältnifse. In der Regel kommt in dieser Beziehung nur in Frage, wie die Trafse gegen die Sonne liegt und ob sie häufigen Seitenwinden oder Schnee-Verwehungen ausgesetzt ist. Im Hochgebirge gewinnen diese Rücksichten wesentliche Bedeutung, indem zu untersuchen ist, welche Erschwerungen und Hindernifse dem Betriebe auf offener Strecke im Winter drohen, an welchen Stellen und in welchem Mafse Lawinen vorkommen und ob durch Eiswirkung und Verwitterung Steinstürze zu erwarten sind.

4. Die Wasserverhältnifse. Die Höhe des Grundwassers im höchsten und niedrigsten Stande, das Niedrig-, Mittel- und Hochwasser der Flüfse und Seen und deren höchster schiffbarer Wasserstand, sowie die Hochwassermenge, Hochwasser-Geschwindigkeit und die Ausdehnung des Ueberschwemmungsgebietes sind für die Trafsirung von Bedeutung. Im Gebirge verlangen die Wildbäche und deren Schuttkegel oder Murgänge besondere Beachtung.

Die Wassermenge ist von der Gröfse des Niederschlagsgebietes abhängig; sie läfst sich auf den qkm in der Sekunde für das nordwestliche Deutschland beispielsweise etwa wie folgt annehmen:

In der Nähe der Quellen: Hochwasser 0,25 bis 0,35 kbm, Niedrigwasser 0,0025 kbm.

Im Gebirge: Hochwasser 0,20 bis 0,25 kbm. Niedrigwasser 0,002 kbm.

Im Hügellande: Hochwasser 0,16 bis 0,18 kbm. Niedrigwasser 0,002 kbm.

Im Flachlande: Hochwasser 0,10 bis 0,15 kbm. Niedrigwasser 0,0015 kbm.

Die Lage und Beschaffenheit der Wasserläufe wird oft Veranlafsung zur Verlegung der Trafse in Grundrifs und Höhe, um die günstigsten Stellen und die erforderliche Höhe für die Ueberbrückung zu erhalten, sowie wiederholte Flufsübergänge oder die Durchschneidung des Ueberschwemmungsgebietes zu vermeiden.

5. Die wirthschaftliche Benutzung der Bodenfläche. Die Umgehung werthvoller, besonders mit Gebäuden besetzter Grundstücke, der Kirchen und Friedhöfe oder die Vermeidung der Durchschneidung von Grundstücken kann zur Verlegung der Trafse Veranlafsung werden. Aufserdem ist das Erfordernifs der Anlage von Schutzstreifen in Haide- und Forstgrund festzustellen, wenngleich daraus wohl kaum ein Grund zur Aenderung der Trafse entstehen kann.

6. Die Wege-Verhältnifse. Für die zu kreuzenden Wege mufs die Gröfse des Verkehrs und die nach den vorhandenen Steigungsverhältnifsen derselben beförderten Nutzladung in beiden Richtungen festgestellt werden, um danach die Frage entscheiden zu können, ob die Kreuzung in Schienenhöhe zulässig oder durch Unter- und Ueberführung zu be-

wirken ist, welche Neigungen den Wegen sowie Rampen zu geben sind. Die vorhandenen Wege werden oft zu Höhenänderungen und zu Verschiebungen der Trafse führen, auch für die Lage der Bahnhöfe bestimmend werden. Aufserdem ist die Nothwendigkeit der Anlage von Parallelwegen zu prüfen.

§ 2.

Zerlegung der Bau- und Betriebskosten der Eisenbahnen für die Aufgaben des Trafsirens.

Zur Beurtheilung des Einflufses, welchen die Betriebsmittel und die erwähnten Bodenverhältnifse auf die Lage der Trafse äufsern, mufs festgestellt werden, in welcher Weise die Gesammtkosten des Verkehrs von der Länge sowie von den Neigungs- und Krümmungsverhältnifsen der Trafse abhängig sind. In den amtlichen Zusammenstellungen der Betriebskosten der Eisenbahnen werden die Ausgaben bekanntlich in drei Gruppen getheilt, in die Kosten der allgemeinen Verwaltung, der Bahn-Verwaltung und der Transport-Verwaltung. Diese Gruppirung der Betriebskosten kann für die Aufgaben des Trafsirens nicht ohne Weiteres benutzt werden; man braucht vielmehr eine Zerlegung in die folgenden fünf Gruppen, von welchen für das Trafsiren nur die drei letzteren in Betracht kommen.

1. Allgemeine Kosten, welche unabhängig von der Gröfse des Verkehrs und von der Länge und Gestaltung der Trafse sind.

2. Bahnhofskosten, welche alle Ausgaben für Aufnahme und Abgabe des Verkehrs umfafsen, also mit der Gröfse des Verkehrs zunehmen, aber unabhängig von der Beschaffenheit der Trafse sind.

3. Bahnkosten, welche die Zinsen des Anlagekapitals der Bahn, mit Ausschlufs der Bahnhöfe und aller aufser-

gewöhnlichen Bauwerke, und die gewöhnliche Unterhaltung und Ueberwachung der Bahnstrecke umfaſsen. Es sind hier nur diejenigen Kosten zu berücksichtigen, welche als in gleichem Verhältniſse mit der Länge der Bahn wachsend anzunehmen sind. Zunächst sind also die Kosten für gröſsere Brücken und Wege-Uebergänge, welche aufzuwenden sind, wie man auch die Traſse führen mag, sowie die Befestigungsanlagen und derartige auſsergewöhnliche von der Länge und Lage der Traſse oder von der Gröſse des Verkehrs ganz unabhängige Kosten auszuscheiden. Ferner ist die vom Verkehr abhängige Abnutzung der Schienen hier auſser Betracht zu lassen.

4. Fahrdienstkosten oder Fuhrwerkskosten. Diese Kosten sind gesondert für den Güter- und Personen-Verkehr, also für den Tonnen-Kilometer und den Personen-Kilometer zu ermitteln; sie sind unabhängig von den Neigungs- und Krümmungs-Verhältniſsen, wachsen aber in gleichem Verhältniſse mit der Länge der Bahn und der Gröſse des Verkehrs.

5. Zugkraftskosten, welche von der Gröſse des Verkehrs, von der Länge, den Neigungs- und Krümmungsverhältniſsen der Bahn abhängig sind. Diese Kosten sind für den Lokomotiv-Kilometer zu ermitteln, wobei auch die Schienen-Abnutzung mit in Rechnung zu stellen ist.

Die Summe der letzten drei Ausgabegruppen giebt die Kosten des Streckendienstes oder die Selbstkosten des Betriebes, welche für die Traſsirung in Betracht kommen, indem sie von Aenderungen der Länge oder der Neigungs- und Krümmungs-Verhältniſse der Traſse beeinfluſst werden. Ausgeschloſsen sind also die Kosten der allgemeinen Verwaltung, die Kosten der gröſsern Brücken, Wege-Uebergänge, Tunnels, Befestigungswerke u. s. w., welche erforderlich werden, wie auch die

Trafse geführt werden mag, die Kosten der Bahnhöfe, der Be- und Entladung der Wagen, des Zugordnungsdienstes, der Fahrkarten-, Gepäck- und Güter-Verwaltung, endlich auch die Kosten des Aufenthalts der Züge an den Bahnhöfen und des Ingangbringens der Züge.

§ 3.

Bahnkosten.

Die Bahnkosten der Strecke, also mit Ausschlufs der Bahnhöfe und aller gröfseren Bauwerke, umfafsen den Grunderwerb, den Erdbau mit Durchläfsen, kleineren Brücken, Wege-Uebergängen und Stützmauern, den Oberbau, die Einfriedigungen, die Telegraphenleitungen, die Streckensignale und die Wärterbuden. Diese Kosten werden in jeden besonderem Falle unschwer durch einen Kosten-Voranschlag zu ermitteln sein. Für das preufsische Staatsbahnnetz des Jahres 1874 haben sie durchschnittlich für den Km 134000 Mark betragen. Aus den amtlichen Zusammenstellungen der Betriebsergebnifse, der preufsischen Staatsbahnen, welche jetzt erscheinen, ist nur die, auf den Km durchschnittlich entfallende Summe der Anlagekosten zu ersehen, welche nach dem „Bericht über die Ergebnifse des Betriebes der für Rechnung des preufsischen Staates verwalteten Eisenbahnen im Betriebsjahre 1885—86“ 277752 Mark betragen hat. Nach Abzug der Kosten der Bahnhöfe und der aufsergewöhnlichen Anlagen sowie der Anschaffungskosten der Betriebsmittel bleiben schätzungsweise für den Km der Bahnstrecke 140000 Mark, deren Verzinsung bei Anrechnung von 4 Prozent jährlich 5600 Mark erfordert.

Die Kosten für Bahn-Unterhaltung und Bewachung für den Km der freien Strecke, einschliefslich der durchgehen-

den Gleise der Bahnhöfe, lafsen sich aus den, durch die Statistik mitgetheilten Kosten der Bahnverwaltung ebenfalls nur schätzungsweise absondern.

Man kann annehmen, dafs von den gesammten persönlichen Ausgaben der Bahnverwaltung, ferner von den Kosten für Büreaubedürfnifse, Heizung, Erleuchtung u. s. w., für Ersatzleistungen, erhebliche Aufwendungen in Folge von Naturereignifsen, endlich für Telegraphen und Signalvorrichtungen nebst Zubehör, welche im Ganzen auf 30 442 200 Mark sich beliefen, 75 Prozent, also 22 831 650 Mark, auf die freie Strecke zu rechnen sind.

Von den Kosten für erhebliche Ergänzungen, Erweiterungen und Verbesserungen ist etwa die Hälfte, also $^1/_2$. 4 365 723 = 2 182 861 Mark für die freie Strecke in Ansatz zu bringen.

Die Kosten für die Schienen-Erneuerung, welche bei Bestimmung der Zugkraftskosten in Rechnung gestellt werden sollen, bleiben hier ausser Betracht.

Für Erneuerung der Schwellen wurden 13 447 813 Mark ausgegeben, während die Gesammtlänge der Gleise auf freier Bahn und der durchgehenden Bahnhofsgleise zu der Länge der Nebengleise etwa wie 3 : 1 sich verhielt. Rechnet man, dafs auf die Unterhaltung der Schwellen in den Nebengleisen nur halb so viel wie in den Hauptgleisen verwendet wurde, so kommen von der ganzen Ausgabe für Schwellen auf die freie Strecke $^6/_7$. 13 447 813 = 11 526 697 Mark.

Zu den in solcher Weise festgestellten Posten von 22 831 650 + 2 182 861 + 1 152 697 = 36 541 208 Mark sind die für Unterhaltung der freien Strecke unter Tit. 13 a des erwähnten statistischen Berichtes aufgeführten Ausgaben mit 23 548 424 Mark zu fügen, wodurch die Summe von 60 089 632 Mark erhalten wird.

Da im Rechnungsjahre 1885—86 im Mittel 21089 Km Eisenbahnen im Betrieb waren, so haben die Kosten für Bahn-Unterhaltung und Aufsicht für den Km durchschnittlich 2850 Mark betragen.

Die Kosten der allgemeinen Verwaltung betrugen 11,6 Prozent der übrigen Betriebsausgaben, so dafs unter Hinzurechnung dieses Prozentsatzes die Kosten der Bahn-Unterhaltung und Aufsicht sich auf 3180 Mark für den Km erhöhen. *)

In den späteren Rechnungen sollen diese Kosten mit U bezeichnet werden, die kilometrischen Anlagekosten der Strecke mit A und der Zinsfuss mit i, so dass die kilometrischen Bahnkosten $= Ai + U$ sind.

§ 4.
Fahrdienstkosten.

In dem Berichte über die Betriebsergebnifse der preufsischen Staatsbahn sind die Ausgaben für Aufnahme und Abgabe des Verkehrs (Stations- und Expeditionskosten), die Fahrdienstkosten und die Zugkraftskosten nicht getrennt aufgeführt, sondern unter den Kosten der Transportverwaltung zusammengefafst. In den Zusammenstellungen der einzelnen Direktionsbezirke sind aber diese Transportkosten in vier Gruppen zerlegt, und zwar in: a. Aeufserer Bahnhofsdienst. b. Expeditionsdienst. c. Zugbegleitungsdienst. d. Zugförderungsdienst.

Die Kosten der Transportverwaltung des preufsischen Staatsbahnnetzes vom Jahre 1885—86 sind in Tabelle I. auf die drei Gruppen: Stations- und Expeditionsdienst, Fahrdienst und Zugförderungsdienst nach einem Verhältnifs vertheilt, wie solches in dem gleichen Zeitraume für den Eisenbahndirektions-

*) Baumeister (Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1880) „Summarische Veranschlagung der Betriebskosten von Adhäsionseisenbahnen“ ermittelte diese Kosten für das preufsische Staatsbahnnetz des Jahres 1874 auf 3016 Mark.

Tabelle I.

Zerlegung der Kosten der Transportverwaltung.

Nach dem Berichte über die Ergebnisse des Betriebes der Preußischen Staatseisenbahnen haben die Ausgaben der Transportverwaltung im Betriebsjahre 1885/86 betragen:			Davon bleiben hier unberücksichtigt	Die übrigen Ausgaben vertheilen sich auf die Spalten A, B und C nach einem Verhältniss von	A. Expeditions- und Stationsdienst	B. Fahrdienst	C. Zugförderungsdienst
Tit.	Kap.	für	Mk.		Mk.	Mk.	Mk.
1 u. 2	—	Gehälter der höheren Beamten, des Hauptkassen- und des Bureaupersonals	—	34 : 24 : 42	690 368	487 319	852 807
3	—	Stationspersonal	—	100 : 0 : 0	24 974 124	—	—
4	1, 2, 3	Expeditionspersonal	—	100 : 0 : 0	4 402 370	—	—
4	4 u. 5	Lokomotivführer und Heizer	—	0 : 0 : 100	—	—	13 087 697
4	6 u. 7	Zugführer und Packmeister	—	0 : 0 : 100	—	—	3 635 439
4	8	Schaffner	—	0 : 100 : 0	—	2 375 421	—
4	9	Bremser	—	0 : 0 : 100	—	—	2 820 167
4	10—14	Werkstättenvorsteher, Werkmeister u. s. w.	—	0 : 40 : 60	—	285 497	428 245
4	15—21	Schiffsbesatzung u. s. w.	72 336	—	—	—	—
5	—	Wohnungeldzuschüsse	—	46 : 16 : 38	3 318 972	1 154 425	2 741 760
6	1	Diätarische Besoldungen	—	88 : 5 : 7	7 922 972	450 169	630 236
6	2	Stellvertretungskosten	—	76 : 4 : 20	790 537	41 607	208 036
6	3	Orts- und Theuerungs-Zulagen	—	75 : 0 : 25	68 496	—	22 832
6	4	Tage- und Akkordlöhne	—	63 : 13 : 24	24 711 730	5 099 246	9 413 993
6	5	Zulagen für frühere Gesellschaftsbeamte	180 241	—	—	—	—
7	1	Tagegelder, Reise- und Umzugskosten	—	71 : 12 : 17	763 645	129 067	182 844
7	2	Fahr-, Stunden- und Nachtgelder	—	0 : 74 : 26	—	8 869 519	3 116 318
7	3	Prämien für Materialersparnisse	—	0 : 0 : 100	—	—	2 969 611

7	4	Dienstkleidung	—	12 : 57 : 31	133 881	635 934	345 858
7	5	Mankogelder für Kassenführer	—	100 : 0 : 0	70 078	—	—
7	6	Besorgung von Privatdepeschen	46 607	—	—	—	—
8	—	Remunerationen	—	66 : 16 : 18	734 393	178 035	202 282
9	—	Unterstützungen	—	67 : 23 : 10	69 280	23 783	10 340
10	1	Büreaubedürfnisse	—	90 : 7 : 3	1 981 908	154 148	66 063
10	2	Heizung der Diensträume	—	89 : 1 : 10	5 377 590	60 422	604 223
10	3	Inventar-Instandhaltung	—	70 : 5 : 25	944 021	67 430	337 150
10	4 b. 8	Entschädigung für Benutzung fremder Grundstücke u. s. w.	—	—	62 707	—	—
12	—	Ersatzleistungen u. s. w.	—	—	338 139	—	—
14	1 u. 2	Feuerung und Speisewasser der Lokomotiven	—	—	—	—	19 003 768
14	3 u. 4	Schmieren und Putzen derselben	—	—	—	—	2 411 184
14	5	Schmieren der Wagen	—	—	—	476 030	—
14	6	Beleuchtung der Züge	—	—	—	994 102	—
14	7	Heizung der Züge	—	—	—	855 707	—
14	8	Heizung u. s. w. der Dampfboote und Fähren	42 951	—	—	—	—
14	9	Rangiren mit Pferden	—	—	691 997	—	—
15	1	Unterhaltung der Lokomotiven	—	—	—	—	22 498 247
15	2	Unterhaltung der Personenwagen	—	—	—	6 403 049	—
15	3	Unterhaltung der Gepäck- und Güterwagen	—	—	—	16 402 666	—
15	4	Unterhaltung der Wagendecken	—	—	—	375 089	—
15	5	Unterhaltung der Hülfsanstalten	91 147	—	—	—	—
15	6	Instandhaltung und Ergänzung von Instrumenten	—	—	—	—	233 518
17	1	Erneuerung der Lokomotiven	—	—	—	—	6 821 337
17	2	Erneuerung der Personenwagen	—	—	—	2 707 019	—
17	3	Erneuerung der Gepäck- und Güterwagen	—	—	—	4 464 397	—
18	—	Für Benutzung fremder Bahnanlagen und Beamten	1 620 354	—	—	—	—
19	—	Für Benutzung fremder Betriebsmittel	5 570 100	—	—	—	—
		Summa	7 623 736	—	78 047 208	52 690 081	92 643 955

bezirk Hannover stattfand. Unberücksichtigt geblieben sind dabei die Ausgaben für die Besatzungsmannschaften der Fährschiffe, die Zulagen für frühere Gesellschaftsbeamten, die Ausgaben für Besorgung von Privatdepeschen, die Kosten für Heizung der Dampfboote und Fähren und die Unterhaltungskosten solcher Hilfsanstalten. Auch die Kosten für Benutzung fremder Bahnanlagen, Betriebsmittel und Beamten wurden ausgeschieden, weil sich diese Ausgaben nahezu mit den Einnahmen aus der Vergütung fremder Bahnverwaltungen für Benutzung der preußischen Bahnanlagen, Betriebsmittel und Beamten decken.

Von den nach Tabelle I. auf den Fahrdienst entfallenden Kosten im Gesammtbetrage von 52 690 081 Mark sind nach den folgenden Erwägungen dem Güterverkehr anzurechnen:

1. Für Schmieren der Wagen. Es wurden in den Personenzügen von den Wagen 1570 Millionen Achskilometer, in den Güterzügen 5087 Millionen Achskilometer zurückgelegt, wobei die Achsen der gemischten Züge zu $^2/_3$ den Güterzügen, zu $^1/_3$ den Personenzügen hinzugezählt wurden. Es sind hiernach von den Kosten des Wagenschmierens $^3/_4$, mithin $^3/_4$ .476 030 Mark = 357 023 Mark für den Güterverkehr zu rechnen.

2. Für Beleuchtung der Züge. Von dem Gesammtbetrage ist schätzungsweise der fünfte Theil mit 198 820 Mark auf die Güterzüge zu rechnen, wovon nach Absatz von 15 Prozent in Berücksichtigung des Aufenthalts an den Stationen für die freie Strecke verbleiben rund 169 000 Mark.

3. Unterhaltungs- und Erneuerungskosten der Güterwagen. Von dem ganzen Betrage für Güter- und Gepäckwagen ist mit Rücksicht auf die in den Personenzügen laufenden Gepäckwagen etwa der 28. Theil abzusetzen, so dass für den Güterverkehr 20 121 810 Mark verbleiben.

4. Für Unterhaltung der Wagendecken 375089 Mark.

5. Von den übrigen Ausgaben des Fahrdienstes sind die Summen für Schaffner, für Heizung der Wagen, für Unterhaltung und Erneuerung der Personenwagen, welche für den Personenverkehr in Rechnung zu stellen sind, in Absatz zu bringen, wonach 17 636 301 Mark verbleiben, welche nach Verhältnifs der Anzahl der Züge, also etwa je zur Hälfte auf den Güter- und Personenverkehr zu vertheilen sind. Von den 8818151 Mark, welche sonach hier in Rechnung kommen, sind zur Berücksichtigung des Aufenthalts der Züge an den Stationen 15 Prozent abzusetzen, wonach 7 495 428 Mark verbleiben.

6. Zu den hier berechneten Summen im Betrage von zusammen 28518350 Mark ist ein Aufschlag von 11,6 Prozent für allgemeine Kosten mit 3308129 Mark zu geben.

7. Das Anschaffungskapital der Güterwagen hat 481 322 767 Mark betragen, was bei 4 Prozent einem jährlichen Zinsbetrage von 19252911 Mark entspricht.

8. Das Anschaffungskapital der Gepäckwagen hat 21 803 957 Mark betragen und ist beim Güterverkehr mit der Hälfte in Rechnung zu stellen, so dafs an Jahreszinsen 436079 Mark in Betracht kommen.

Von dem unter 7 und 8 berechneten Zinsbetrage des Anschaffungskapitals der Güter- und Gepäckwagen ist nicht allein der auf den fahrplanmäfsigen Aufenthalt der Züge an den Stationen entfallende Theil, sondern ein noch weit erheblicherer Betrag in Abzug zu bringen, welcher dem Zeitaufwand beim Be- und Entladen, sowie bei der Zugordnung und bei Uebernachtung von Zügen entspricht, so dafs für den Fahrdienst der Strecke schätzungsweise nur der dritte Theil jener Zinsen mit 6 562 997 Mark in Anrechnung zu bringen ist.

Der Fahrdienst im Güterverkehr hat hiernach eine Jahres-

ausgabe von 38389476 Mark erfordert, welche sich auf 10866 Millionen Tonnen-Kilometer Nutzlast vertheilt, mithin 0,35 Pfennig für den Nutztonnen-Kilometer beträgt.

Da das auf eine Güterzugsachse kommende Wagengewicht zu 2,85 Tonnen anzunehmen ist, so wurden bei den 5087 Millionen Achskilometer des Güterverkehrs an Wagengewicht 14498 Tonnen-Kilometer befördert. Auf jede Tonne Nutzlast kommen daher 1,35 oder abgerundet $1^1/_3$ Tonnen Wagengewicht und es waren $2^1/_3$ Tonnen Rohlast zur Förderung von einer Tonne Nutzlast fortzuschaffen. Die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast haben demnach 0,15 Pfennig betragen, während sie für den Achs-Kilometer der Güterzüge sich auf 0,75 Pfennig stellen.

Auf den Personenverkehr kommen von den in Tabelle I aufgeführten Fahrdienstkosten:

1. Die Besoldung der Schaffner mit 2375421 Mark, wovon in Berücksichtigung des Aufenthalts der Züge an den Stationen 10 Prozent abzusetzen sind, also 2137879 Mark verbleiben.

2. Für Schmieren der Wagen der vierte Theil des ganzen Betrages (vergl. Nr. 1 der Ausgabeu an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs), also 119008 Mark.

3. Für Beleuchtung der Züge $^4/_5$ des ganzen Betrages (vergl. Nr. 2 der Ausgaben an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs), also 795282 Mark, wovon in Berücksichtigung des Aufenthalts der Züge an den Stationen 10 Prozent in Absatz kommen, mithin 715754 Mark verbleiben.

4. Die Kosten für Heizung der Wagen mit 855707 Mark, welche nach Abzug von 10 Prozent für den Aufenthalt an den Stationen sich auf 770137 Mark ermäfsigen.

5. Die Kosten für Unterhaltung und Erneuerung der Personenwagen mit 9110068 Mark.

6. Der 28. Theil (vergl. Nr. 3 der Ausgaben an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs) der Kosten für Unterhaltung und Erneuerung der Güter- und Gepäckwagen, mit Rücksicht auf die in den Personenzügen gefahrenen Gepäckwagen, mit 745253 Mark.

7. Die Hälfte der übrigen Ausgabeposten (vergl. Nr. 5 der Ausgaben an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs) mit 8818150 Mark, wovon nach Abzug von 10 Prozent für den Aufenthalt der Züge an den Stationen 7936335 Mark bleiben.

8. Zu den hier berechneten Summen im Gesammtbetrage von 21534434 Mark ist ein Aufschlag von 11,6 Prozent für allgemeine Kosten mit 2497994 Mark zu geben.

9. Das Anschaffungs-Kapital der Personenwagen hat 107323532 Mark betragen, was zu 4 Prozent einen Jahresbetrag von 4292941 Mark Zinsen ausmacht.

10. Das Anschaffungs-Kapital der Gepäckwagen hat 21803957 Mark betragen und ist beim Personenverkehr mit der Hälfte seines Zinsenbetrages, also mit 436079 Mark in Rechnung zu bringen.

Von den unter 9. und 10. berechneten Zinsen des Anschaffungskapitals der Personen- und Gepäckwagen sind mit Rücksicht auf den Aufenthalt an den Stationen u. s. w. schätzungsweise nur etwa $^2/_3$, also 3152680 Mark für den Fahrdienst auf der Strecke in Anrechnung zu bringen.

Der Fahrdienst im Personenverkehr hat demnach eine Jahresausgabe von 27185108 Mark erfordert, welche sich auf 5033 Millionen Personen-Kilometer vertheilt, mithin 0,54 Pfennig für den Personen-Kilometer beträgt.

Es wurden 1570 Millionen Achs-Kilometer im Personenverkehr geleistet und, da auf eine Achse der Personenzüge durchschnittlich ein Gewicht von 4,4 Tonnen zu rechnen ist, 6908 Millionen Tonnen-Kilometer in Personenzügen befördert,

so dafs auf eine beförderte Person $1^1/_3$ Tonnen Last der Personenzüge entfällt.

Der Tonnen-Kilometer der Personenzüge hat sonach an Fahrdienstkosten 0,405 Pfennige erfordert. Die Fahrdienstkosten für den Achs-Kilometer der Personenzüge haben dagegen 1,75 Pfennig betragen.

Für gemischte Züge wird man auf den Tonnen-Kilometer der Zuglast etwa 0,25 Pfennig und für den Achs-Kilometer etwa 1,1 Pfennig an Fahrdienstkosten rechnen können.

Die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge sollen mit f die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge mit f_1 und das Verhältniss der Rohlast zur Nutzlast mit b bezeichnet werden.

§ 5.

Zugkraftskosten.

Bei den, von den Neigungsverhältnifsen der Bahn abhängigen Zugkraftskosten sind sinngemäfs auch die ebenfalls von der Bahnneigung abhängigen Bremserkosten zu berechnen.

Nach Tabelle I. haben die Ausgaben für die Bremser 2820167 Mark betragen, welche sich durch den Aufschlag von 11,6 Prozent für allgemeine Kosten auf 3147306 Mark erhöhen. Hiervon bleiben nach Abzug von 15 Prozent für den Aufenthalt der Züge an den Stationen 2675210 Mark für den Streckendienst in Rechnung zu stellen. Es sind dies aber nur die persönlichen Ausgaben für die Bremser; die sachlichen Ausgaben für Verzinsung der Herstellungskosten der Bremsvorrichtungen, für Instandhaltung derselben und für Abnutzung der Radreifen sind unter den bereits festgestellten Fahrdienstkosten enthalten und die Kosten der durch das Bremsen entstehenden Schienen-Abnutzung werden noch unter

den Ausgaben für Schienen-Erneuerung zur Verrechnung gelangen. Es hätten diese sachlichen Kosten des Bremsens eigentlich auch besonders ermittelt und in Abhängigkeit von den Neigungsverhältnifsen der Bahn bestimmt werden müfsen.

Nach den Vereinbarungen der deutschen Eisenbahnverwaltungen soll in Güterzügen bei Steigungen

bis 1 : 500 der 12. Theil,
„ 1 : 300 „ 10. „
„ 1 : 200 „ 8. „
„ 1 : 100 „ 7. „
„ 1 : 60 „ 5. „
„ 1 : 40 „ 4. „

der Achsen gebremst werden können. Die Zahl der zu bremsenden Achsen soll also, wenn die Gesammtzahl der Achsen $= N$ und die stärkste Neigung der Bahn $= s$ ist, annähernd $n = (s + 0{,}01)\ 7\ N$ betragen und die Kosten des Bremsens werden in gleichem Verhältnifs mit der Zahl der Bremsachsen wachsend anzunehmen sein. Da die stärkste, auf den verschiedenen Betriebsstrecken des preufsischen Staatsbahnnetzes vorkommende Steigung s im Durchschnitt etwa 0,0055 beträgt, so werden nur etwas über ein Drittel der Bremsen mit Rücksicht auf die Neigungsverhältnifse der Bahn eingestellt und etwa zwei Drittel der Bremskosten würden, als unabhängig von der Bahnneigung, den Fahrdienstkosten zuzurechnen sein. Da nun die der Gröfse nach aus den statistischen Nachweisungen nicht zu ermittelnden sachlichen Bremskosten unter den Fahrdienstkosten bereits mit enthalten sind, so mag zur Ausgleichung angenommen werden, dass die noch zu verrechnenden persönlichen Bremskosten ihrem ganzen Betrage nach proportional der stärksten Neigung der Betriebsstrecke sind. Man wird auch keinen für das Endergebnifs der Rechnung in Betracht kommenden Fehler begehn, wenn man die Bremskosten allein dem Güter-

verkehr zur Last legt. Die Bremserkosten sind danach gleich $e\,s\,T$ zu setzen, worin e ein Koeffizient, s der durchschnittliche Werth der auf den verschiedenen Betriebsstrecken vorkommenden stärksten Neigung = 0,0055 und T die Anzahl der Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge = 26354 Millionen-Tonnen-Kilometer ist. Der Koeffizient e ergiebt sich hiernach rund zu 2 Pfennig.

Nach Abzug der Bremserkosten bleiben nach Tabelle I. an Kosten für den Zugförderungsdienst 89823788 Mark übrig, deren einzelne Posten zur Feststellung der Kosten eines Lokomotiv-Kilometers in folgender Weise zu vertheilen sind.

Tabelle II.

Ermittelung der Kosten des Lokomotiv-Kilometers.

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der		Stationskosten
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	Mark.
1. Für Zugführer und Packmeister wurden 3635439 Mark verausgabt, welche nach der Zahl der Zug-Km zu vertheilen sind, wobei aber die Güterzüge schätzungsweise 1½ mal so hohe Kosten als die Personenzüge verursachen. Es betrug die Anzahl der Personen und Schnellzug-Km 71 853 306			
dazu 1½ mal Güter- und gemischte Züge . . 121 326 856			
giebt zusammen . . 193 180 162			
Zu übertragen . .	—	—	—

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Person.-Züge Pfg.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Güter-Züge Pfg.	Stationskosten Mark.
Uebertrag . .			
es kommen daher auf einen Personenzug-Km = 1,88 Pfg.			
und auf einen Güterzug-Km. = $1^1/_2 \cdot 1{,}88 = 2{,}92$ Pfg.			
Hiervon sind für den Aufenthalt an den Stationen bei den Personenzügen 10 Prozent, bei den Güterzügen 15 Prozent in Abzug zu bringen und den Stationskosten hinzuzufügen,			
also $0{,}1 \cdot 0{,}0188 \cdot 71853306 =$	1,69	—	135 084
und $0{,}15 \cdot 0{,}0282 \cdot 80884571 =$	—	2,40	342 142
2. Für Lokomotivführer und Heizer, einschliefslich Fahr- und Stundengelder wurden 16204015 Mark verausgabt, welche auf die Zahl der geleisteten Lokomotiv-Km zu vertheilen sind, wobei aber zu berücksichtigen ist, dafs die von Personenzügen geleisteten wegen des geringeren Zeitaufwandes nur $^2/_3$ so theuer sind, als die übrigen. Als Theilungszahl erhält man daher:			
$^2/_3$ mal Pers.- u. Schn.-Züge 47902204			
Güterzüge u. Rangirdienst 154986007			
$= 202888211$			
Zu übertragen . .	1,69	2,40	477 226

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Person.-Züge Pfg.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Güter-Züge Pfg.	Stationskosten Mark.
Uebertrag . .	1,69	2,40	477 226
Man erhält hiernach für den Lokomotiv-Km in Güterzügen oder im Rangirdienst 7,99 Pfg. und für den Lokomotiv-Km von Personenzügen 5,33 Pfg. Hiervon sind für den Aufenthalt an den Stationen bei den Personenzügen 10 Prozent, bei den Güterzügen 15 Prozent in Abzug zu bringen und den Stationskosten hinzuzufügen, mithin für die Personenzüge			
0,1 · 0,0533 · 71853306	4,80	—	382 971
für die Güterzüge			
0,15 · 0,0799 · 80884871	—	6,79	969 399
Die Kosten im Rangirdienst haben betragen 0,0799 · 41680255 =	—	—	3 330 252
3. Die Ausgaben für Unterhaltung und Erneuerung der Lokomotiven haben im Ganzen 29319584 Mark betragen, wovon $^2/_3$, also 19546389 Mark, als unabhängig von der Gröfse der Arbeitsleistung der Lokomotiven gerechnet werden können. Da nach den statistischen Nachweisen für Unterhaltung der Lokomotiven 257632533			
Zu übertragen . .	6,49	9,19	5159848

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Person.-Züge Pfg.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Güter-Züge Pfg.	Stationskosten Mark
Uebertrag . .	6,49	9,19	5 159 848
Lokomotiv-Km in Betracht kommen, so entfallen auf 1 Lokomotiv-Km . .	7,60	7,60	—
Davon kommen auf den Rangirdienst 0,0760 · 83089700 =	—	—	6 314 826
4. Andere persönliche und sachliche Ausgaben, welche unabhängig von der Gröfse der Arbeitsleistung der Lokomotiven sind, haben betragen:			
Für Gehälter der höheren Beamten 852807			
Werkstättenvorsteher u.s.w. 428245			
Wohnungsgeldzuschüfse . 2741760			
Diätarische Besoldungen . 630236			
Stellvertretungskosten . . 208036			
Orts- und Theuerungszulagen 22832			
Tagegelder und Reisekosten 182844			
Dienstkleidung. 345858			
Remunerationen 202282			
Unterstützungen 10340			
Büreaubedürfnifse . . . 66063			
Heizung der Diensträume. 604223			
Instandhaltung des Inventars 337150			
Zu übertragen . .	14,09	16,79	11 474 674

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer für Person.-Züge Pfg.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer für Güter-Züge Pfg.	Stationskosten Mark
Uebertrag . .	14,09	16,79	11 474 674
Schmieren und Putzen der Lokomotiven 2 411 184			
Insgemein, für Instrumente u. s. w. 233 518			
zusammen 9 277 378			
Vertheilt auf 226 839 313 Lokomotiv-Kilometer ergiebt dies für den Km und für den Rangirdienst	4,09	4,09	—
0,0409 · 41 680 235	—	—	1 704 361
=	18,18	20,88	13 179 035
5. Als Antheil der Kosten der allgemeinen Verwaltung ist hierzu ein Aufschlag von 11,6 Prozent zu geben, also	2,11	2,42	1 528 768
6. Das Anschaffungskapital der Lokomotiven hat betragen 383 343 794			
ferner das Anlagekapital der Lokomotivschuppen, nach Schätzung . . . 42 000 000			
= 425 343 794			
Die Zinsen dieses Kapitals sind bei Anrechnung von 4 Prozent = 17 213 752 Mark.			
Zu übertragen . .	20,29	23,30	14 707 803

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Person.-Züge Pfg.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Güter-Züge Pfg	Stationskosten Mark
Uebertrag . .	20,29	23,30	14 707 803
Da die Güterzugslokomotiven im Durchschnitt jährlich nur etwa $^4/_5$ der Fahrlänge der Personenzugs- und Rangir-Lokomotiven zurücklegen, so entfällt bei jenen ein um $1^1/_4$ höherer Zinsenbetrag auf den Km als bei diesen. Da die Zahl der Güterzugs-Kilometer etwa $^1/_3$ der Gesammtzahl der Lokomotiv-Km beträgt, so ist für die Theilung die Zahl der Lokomotiv-Km um $^1/_{12}$ zu erhöhen, also auf $1^1/_{12} \cdot 226\,839\,313 = 245\,742\,589$ zu bringen. Die Theilung ergiebt dann			
für den Personenzugs-Lokomotiv-Km	7,00	—	—
für den Güterzugs-Lokomotiv-Km .	—	8,75	—
auf den Rangirdienst kommen: $0{,}07 \cdot 41\,680\,235 =$	—	—	2 917 615
7. An Ausgaben, welche als proportional der Größe der von den Lokomotiven geleisteten Arbeit anzunehmen sind, kommen in Rechnung für:			
Erneuerung der Schienen 18 608 111			
Arbeitslöhne 9 413 993			
Zu übertragen . .	27,29	32,05	17 625 418

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Person.-Züge Pfg.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der Güter-Züge Pfg.	Stationskosten Mark
Uebertrag . .	27,29	32,05	17 625 418
Prämien für Materialersparnisse 2 969 611			
Lokomotiv-Feuerung und Speisewasser 19 003 768			
Ein Drittel der Ausgaben für Unterhaltung und Erneuerung der Lokomotiven 9 773 194			
= 59 768 777			
Dazu der Antheil der Kosten der allgemeinen Verwaltung mit 11,6 Prozent = 6 933 178			
zusammen 66 701 955			
Dies giebt bei 226 839 313 Lokomotiv-Km auf einen Lokomotiv-Km 29,4 Pfennige.			
Für das Anhalten und Ingangbringen der Züge sind hiervon schätzungsweise 3 Prozent abzusetzen, so dass man erhält	28,52	28,52	1 633 003
Auf den Rangirdienst kommen 0,294 · 41 680 235	—	—	12 754 152
Summa . .	—	—	32 002 573

Setzt man die von der Gröfse der Arbeitsleistung der Lokomotiven unabhängigen und lediglich proportional der Fahrlänge wachsenden Kosten für den Km $= B_0$ und die aus der Verrichtung eines Tonnen-Kilometers Arbeit entstehenden Kosten $= a$, so sind die Kosten eines Lokomotiv-Kilometer B bei Leistung einer Zugkraft von Z Tonnen:

$$B = B_0 + aZ$$

Die durchschnittlich von den Lokomotiven auf dem preufsischen Staatsbahnnetze im Jahre 1885—86 geleistete Zugkraft ist zu 1,15 Tonnen anzunehmen.*) Es stimmt diese Ziffer auch sehr gut mit dem Kohlenverbrauche, welcher unter Ausschlufs des zum Anheizen der Lokomotiven verwendeten Holzes 2191266 Tonnen betragen hat. Es verbleiben hiervon nach Abzug von 3 Prozent für den Aufenthalt an den Stationen und für das Ingangbringen der Züge 2125528 Tonnen. Nach Wöhler (Centralblatt der Bauverwaltung 1882 Nr. 40) werden in den Lokomotiven durch ein kg Steinkohle durchschnittlich 7,06 kg Wasser verdampft und nach Frank „Widerstände der Lokomotiven und Bahnzüge. Wiesbaden. Kreidel's Verlag. 1886. Seite 64“ wurden bei einem Versuche durch ein kg Wasser von einer Lokomotive 17254 Meter-Kilogramm Arbeit geleistet, so dass durch ein kg Steinkohle $7{,}06 \cdot 17254 = 121813$ Meter-Kilogramm oder durch eine

*) Für das preufsische Eisenbahnnetz vom Jahre 1874 wurde von mir in der Schrift „Die Betriebskosten der Eisenbahnen in ihrer Abhängigkeit von den Neigungs- und Krümmungsverhältnissen der Bahn. Leipzig bei Wilh. Engelmann. 1877“ die durchschnittliche Zugkraft der Lokomotiven — etwas reichlich hoch — zu 1,37 Tonnen geschätzt. Schübler „Ueber Selbstkosten und Tarifbildung der deutschen Eisenbahnen. Stuttgart bei Paul Neff. 1879“ bestimmt diesen Werth zu 1,25 Tonnen. Baumeister „Summarische Veranschlagung der Betriebskosten der Adhäsionseisenbahnen. Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens 1880“ ermittelt für das preufsische Bahnnetz vom Jahre 1877 die durchschnittliche Zugkraft der Lokomotiven zu 1,18 Tonnen.

Tonne Steinkohlen 121,813 Tonnen-Kilometer Arbeit geleistet werden. Die 2 125 528 Tonnen in den Lokomotiven verwendeter Steinkohlen müssten hiernach eine Arbeitsleistung von 259 116 940 Tonnen-Kilometern geben, also bei 226 839 313 Lokomotiv-Kilometern eine mittlere Zugkraft von 1,14 Tonnen liefern. Unter der Zugkraft sind natürlich auch die zur Fortbewegung der Lokomotive selbst und die Reibungswiderstände der Maschinentheile einbegriffen.

Aus der Gröfse der mittleren Zugkraft der Lokomotiven von 1,15 Tonnen und den nach Tabelle II. für die Arbeitsleistung der Lokomotiven auf ein Km Fahrlänge aufgewendeten Kosten von 28,52 Pfennig ergiebt sich, dass die Leistung einer Zugkraft von einer Tonne für den Lokomotiv-Kilometer rund 25 Pfennige gekostet hat.

Hiernach sind die Kosten eines Lokomotiv-Kilometers bei Leistung von Z Tonnen Zugkraft zu setzen:

Für Personenzüge:

$$B = 27 + 25\ Z$$

Für Güterzüge:

$$B = 32 + 25\ Z.$$

§ 6.

Stations- und Expeditionskosten.

Die Stations- und Expeditionskosten kommen für die Aufgaben des Trafsirens nicht in Betracht und bedürfen deshalb hier keiner eingehenden Untersuchung. Dieselben haben im Ganzen betragen:

Nach Tabelle I.	78 047 208 Mark
Dazu als Antheil an den Kosten der allgemeinen Verwaltung 11,6 Prozent =	9 043 476 „
zu übertragen . .	87 081 684 Mark

Uebertrag . .	87 081 684	Mark.
Die von den Fahrdienstkosten in § 4 mit Rücksicht auf den Aufenthalt an den Stationen abgesetzten Beträge mit	17 645 228	„
Die von den Zugförderungskosten in § 5 abgesetzten Beträge mit . . .	32 002 573	„
zusammen . .	136 738 585	Mark.

Es ist nach den vorliegenden statistischen Nachweisen kaum durchführbar, diese Kosten in zutreffender Weise für den Personen- und Güterverkehr zu zerlegen. Baumeister (a. a. O.) hat die Stations- und Expeditionskosten für eine Person zu 15,28 Pfennig und für eine Tonne Güter zu 69,88 Pfennig ermittelt, wobei aber der Rangirdienst, welcher von ihm den Streckenkosten zugerechnet wird, nicht berücksichtigt ist. Für den Verkehr der preufsischen Staatsbahnen vom Jahre 1885—86, in welchem 161 812 362 Personen und 86 406 992 Tonnen Güter befördert wurden, mufsten nach diesen Sätzen die Stations- und Expeditionskosten rund 85 Millionen Mark betragen haben, also nahezu die Summe der in Tabelle I. unter Zuschlag von 11,6 Prozent für Kosten der allgemeinen Verwaltung für die Expeditionskosten enthaltenen Summen. Von dem Gesammtbetrage der Expeditionskosten wurden nach den von Baumeister ermittelten Einheitssätzen etwa $^2/_7$ auf den Personen- und $^5/_7$ auf den Güterverkehr fallen. Theilt man die in Tabelle I. angegebenen Expeditions- und Stationskosten, unter Hinzurechnung des entsprechenden Antheils an den Kosten der allgemeinen Verwaltung nach diesem Verhältnifs, addirt die von den Fahrdienstkosten in § 4 mit Rücksicht auf den Aufenthalt an den Stationen ausgeschiedenen Beträge und zerlegt die in Tabelle II. angegebenen vornehmlich durch den Rangirdienst und den Aufenthalt der Züge an den Sta-

tionen entstehenden Stationskosten, welche besonders dem Güterverkehr zur Last fallen, im Verhältnifs von 1 : 10, so kommen von den gesammten Stations- und Expeditionskosten auf den Personenverkehr 29 802 171 Mark und auf den Güterverkehr 105 936 314 Mark. Bei der angegebenen Menge der beförderten Personen und Güter erhält man hieraus die Stations- und Expeditionskosten für eine Person zu 18,4 Pfennig und für eine Tonne Güter zu 122,6 Pfennig, in welchen Beträgen die Zinsen für die Anlagekosten und die Unterhaltungskosten der Bahnhöfe nicht mit begriffen sind. Es mufs aber hervorgehoben werden, dafs für die in solcher Weise vorgenommene Vertheilung der Stations- und Expeditionskosten auf den Personen- und Güterverkehr der Anspruch auf befriedigende Genauigkeit nicht erhoben werden kann.

§ 7.

Zug-Widerstand.

Bei Annahmen über den Widerstand der Eisenbahnzüge hat man vielfach die bekannten im Jahre 1868 auf der französischen Ostbahn von Veuillemin, Dieudonné und Guèbhard angestellten Versuche zu Grunde gelegt. Die Formeln, in welchen die Ergebnifse jener Versuche zusammengefafst werden, enthalten in unzweckmäfsiger und irreführender Weise die Zuggeschwindigkeit in der ersten Potenz unter Multiplikation durch einen mit der Geschwindigkeit wachsenden Koeffizienten. Die Erkenntnifs, dafs der Einfluſs der Geschwindigkeit v auf den Zugwiderstand sich nur im quadratischen Verhältnifs derselben äufsern kann, hat besonders die deutschen Ingenieure fast allgemein veranlafst, die Ergebnifse der erwähnten Versuche auf eine Formel von der Form:

$$w = a + bv^2$$

zurückzuführen. In früheren Untersuchungen (die Betriebs-

kosten der Eisenbahnen u. s. w. S. 15) habe ich nach den genannten Versuchen ermittelt:

$$w = 0{,}0015 + 0{,}00003\ v^2$$

wobei v in Metern für die Sekunde einzusetzen ist. Baumeister (a. a. O.) gelangt fast zu der gleichen Formel und setzt $w = 0{,}0018 + 0{,}0000023\ v^2$ für v im Km in der Stunde oder $w = 0{,}0018 + 0{,}00003\ v^2$, wenn v in Metern und in der Sekunde angegeben wird.

Später überzeugte ich mich, dafs nach den Versuchsergebnifsen von Veuillemin, Dieudonné und Guèbhard, durch welche lediglich der Widerstand der Wagen mit Ausschlufs der Lokomotive angegeben wird, der Einflufs der Geschwindigkeit zu stark hervortritt, und ich glaubte zutreffender für den ganzen Zug mit Einschlufs der Lokomotiven setzen zu sollen: (A. a. O. S. 30.)

$$w = 0{,}002 + 0{,}00002\ v^2.$$

Die von Frank angestellten und in der bereits erwähnten Schrift mitgetheilten Versuche bestätigen die Auffassung, dafs die in Rede stehenden französischen Versuche den Einflufs der Geschwindigkeit zu stark erscheinen lassen.

Frank fand für den Widerstand eines Personenzuges auf gerader horizontaler Bahn, wenn mit L das Gewicht der Lokomotive sammt Tender, mit Q das Gewicht der beförderten Zuglast, mit w_{I} und w_{II} die Widerstandskoeffizienten der Lokomotive und bezw. der Wagen bezeichnet werden, wenn ferner F_{I} die dem Luftwiderstande ausgesetzte Vorderfläche der Lokomotive in qm und F_{II} die in dieser Beziehung für den übrigen Theil des Zuges anzusetzende Fläche und endlich v die Fahrgeschwindigkeit in Metern und in der Sekunde ist:

$$W = 1{,}033\ \{w_{\text{I}}\ L + w_{\text{II}}\ Q + 0{,}1225\ (F_{\text{I}} + F_{\text{II}})\ v^2 + 31\}$$

wobei L, Q und W in kg ausgedrückt sind. Als Vorderfläche

der Lokomotive wird F_I zu 7 und zur Ermittelung von F_{II} für den Packwagen 1,7 und für jeden folgenden Wagen 0,5 angegeben. Setzt man die Zahl der Wagen, einschliefslich des Gepäckwagens, $= n$, so ist also $F_I + F_{II} = 8{,}2 + 0{,}5\ n$. Da das Gewicht eines Wagens der Personenzüge durchschnittlich zu 8800 kg anzunehmen ist, also $n = \frac{Q}{8800}$ ist, so folgt weiter $F_I + F_{II} = 8{,}2 + 0{,}0000568\ Q$. Die Widerstandskoeffizienten wurden zu $w_I = 0{,}0032$ und $w_{II} = 0{,}0025$ gefunden, mithin entsteht nach Einsetzung dieser Werthe:

$$W = 0{,}003306\ L + 0{,}00258\ Q + (1{,}038 + 0{,}0000072\ Q)\ v^2 + 31.$$

Der Widerstandskoeffizient für die Lokomotive allein ist hiernach:

$$w = 0{,}003306 + \frac{31}{L} + \frac{1{,}038}{L}\ v^2$$

oder bei dem Durchschnittsgewicht der Personenzugslokomotiven von $L = 54000$ kg:

$$w_I = 0{,}00388 + 0{,}0000192\ v^2,$$

wogegen der Widerstandskoeffizient für den Wagenzug

$$w_{II} = 0{,}00258 + 0{,}0000072\ v^2$$

ist.

Haben die Wagen das m-fache Gewicht der Lokomotiven, so ist der durchschnittliche Widerstandskoeffizient für den Personenzug

$$w = 0{,}00258 + \frac{0{,}0013}{1+m} + \left(0{,}0000072 + \frac{0{,}000012}{1+m}\right) v^2$$

Für Personenzüge ist m im Durchschnitt $= 2$ zu rechnen, so dafs sich der Widerstandskoeffizient der Personenzüge ergiebt zu:

$$w = 0{,}00301 + 0{,}0000112\ v^2$$

Für Schnellzüge ist dagegen $m = 1\frac{1}{2}$ zu rechnen, also

$$w = 0{,}00310 + 0{,}0000120\ v^2$$

Für Güterzüge giebt Frank die Formel:

$W = 1{,}04 \{w_{\text{I}} L + w_{\text{II}} Q + 0{,}1225 (F_{\text{I}} + F_{\text{II}}) v^2 + 50\}$

wobei $w_{\text{I}} = 0{,}0038$, $w_{\text{II}} = 0{,}0025$ und für die Vorderfläche der Lokomotive $F_{\text{I}} = 8$, für den darauf folgenden Gepäckwagen 1,7 und für jeden der übrigen Wagen im Durchschnitt 0,6 zu setzen ist, so dafs für n Wagen $F_{\text{I}} + F_{\text{II}} = 9{,}1 + 0{,}6\, n$ ist. Da das durchschnittliche Gewicht eines Güterwagens zu 9800 kg anzunehmen ist, so folgt $F_{\text{I}} + F_{\text{II}} = 9{,}1 + 0{,}0000612\, Q$. Hiernach ist:

$W = 0{,}003952\, L + 0{,}0026\, Q + (1{,}149 + 0{,}00000078\, Q) v^2 + 52$

und danach der Widerstandskoeffizient für die Lokomotive allein, wenn man das durchschnittliche Gewicht einer Güterzugslokomotive zu 60 000 kg annimmt:

$$w_{\text{I}} = 0{,}00482 + 0{,}0000192\, v^2$$

und für die Güterwagen:

$$w_{\text{II}} = 0{,}0026 + 0{,}0000078\, v^2.$$

Ist das Gewicht des Zuges das m-fache der Lokomotive, so ist der durchschnittliche Widerstandskoeffizient für den ganzen Güterzug:

$$w = 0{,}0026 + \frac{0{,}00222}{1+m} + \left(0{,}0000078 + \frac{0{,}0000114}{1+m}\right) v^2.$$

Da im Mittel für das preufsische Bahnnetz m etwa $= 6$ ist, so folgt für die Güterzüge:

$$w = 0{,}00292 + 0{,}0000094\, v^2$$

also für $v = 7$, $w = 0{,}00338$.

Auf Bahnen mit stärkeren Steigungen wird sowohl m wie auch v kleiner; z. B. sinkt auf Gebirgsbahnen mit einer Steigung von 0,025 der Werth m auf $2^1/_2$ und v auf $3^1/_2$, so dafs der Widerstandskoeffizient $w = 0{,}00337$ wird. Es ist also für Güterzüge der Widerstandskoeffizient für Flachland- wie für Gebirgsbahnen gleich grofs, was für die Vereinfachung der Rechnungen von Belang ist.

Bei den Personenzügen vermindert sich auf Gebirgsbahnen das Zuggewicht allerdings nicht in solchem Maſse, daſs bei der erforderlich werdenden Verminderung der Geschwindigkeit der Widerstandskoeffizient die gleiche Gröſse wie im Flachlande behielte. Da aber, wie sich zeigen wird, der Personenverkehr für die Aufgaben des Traſsirens von weit geringerer Bedeutung als der Güterverkehr ist, so kann ohne Bedenken auch für die Personenzüge der Widerstandskoeffizient im Flachlande und Gebirge gleich groſs angenommen werden.

Der Widerstandskoeffizient ist also auf gerader horizontaler Bahn bei der auf dem preuſsischen Bahnnetze vorkommenden mittleren Zugbelastung:

für Güterzüge:

$$w = 0{,}00292 + 0{,}0000094\ v^2$$

für Personenzüge:

$$w = 0{,}00301 + 0{,}0000112\ v^2$$

für Schnellzüge:

$$w = 0{,}00310 + 0{,}0000120\ v^2$$

Diese Formeln, welche für Geschwindigkeiten von bezw. 7, 13 und 18 m die Widerstandskoeffizienten 0,00338, 0,00490 und 0,00699 ergeben, lassen sich mit befriedigender Schärfe durch eine einheitliche, für alle Zuggattungen, innerhalb der bei denselben vorkommenden Geschwindigkeiten, gültige Formel von der Form:

$$w = 0{,}00273 + 0{,}0000131\ v^2$$

ersetzen. Diese liefert für die Geschwindigkeiten 7, 13 und 18 m die Werthe $w = 0{,}00337$, 0,00494 und 0,00697.

Da aber die Geschwindigkeit der Züge nicht gleichmäſsig ist, so ist der durchschnittliche Widerstand gröſser als der mittleren Fahrgeschwindigkeit entsprechen würde. Wäre z. B. bei einer Fahrlänge l die Geschwindigkeit auf $^1/_{16}\ l$ gleich $^1/_2\ v$, wie es etwa beim Anfahren und Anhalten der Züge eintritt,

ferner auf $^1/_{16}\ l$ gleich $^3/_4\ v$, und endlich auf $^3/_8\ l$ gleich $^9/_7\ v$, wobei nach der Gleichung:

$$\frac{^1/_{16}\ l}{^1/_2\ v} + \frac{^1/_{16}\ l}{^3/_4\ v} + \frac{^1/_2\ l}{v} + \frac{^3/_8\ l}{^9/_7\ v} = \frac{l}{v}$$

als mittlere Geschwindigkeit sich v ergiebt, so wäre der Zugwiderstand in dem von der Geschwindigkeit abhängigen Theile:

$$0{,}0000131\ (^1/_{16}\ (^1/_2\ v)^2 + ^1/_{16}\ (^3/_4\ v)^2 + ^1/_2\ v^2 + ^3/_8\ (^9/_7\ v)^2$$
$$= 0{,}0000131 \cdot 1{,}218 \cdot v^2$$
$$= 0{,}000016\ v^2.$$

Die Abweichungen von der mittleren Geschwindigkeit, wie solche hier beispielsweise angenommen wurden, werden durch das Anfahren und Anhalten der Züge sowie mit Rücksicht auf die Steigungsverhältnifse theils in stärkerem theils in geringerem Mafse eintreten, nach Schätzung aber durchschnittlich die Feststellung des Koeffizienten, mit welchem das Quadrat der mittleren Geschwindigkeit v zu multipliziren ist, zu 0,000016 rechtfertigen.

Es ist ferner zu berücksichtigen, dafs durch den Wind eine Erhöhung des Zugwiderstandes eintritt. Bei einer Windgeschwindigkeit v, erhöht sich der von der Geschwindigkeit abhängige Theil des Widerstandskoeffizienten in der einen Richtung auf $0{,}0000131\ (v + v_1)^2$ und vermindert sich in der anderen Richtung auf $0{,}0000131\ (v - v_1)^2$, wird also im Mittel zu $0{,}0000131\ (v^2 + v_1^2)$. Die Steigerung des Widerstandskoeffizienten beträgt also $0{,}0000131\ v_1^2$. Trifft der Wind dagegen den Zug rechtwinklich mit einer Geschwindigkeit v_1, so äufsert derselbe auf den qm Seitenfläche einen Druck von $0{,}1225\ v_1^2$ kg, welcher bei Annahme eines Reibungskoeffizienten von $^1/_6$ einen Widerstand von $0{,}0204\ v_1^2$ kg bewirkt. Da auf eine Tonne Zuggewicht 2 qm Seitenfläche zu rechnen sind, so ist die Vermehrung des Widerstandskoeffizienten durch Seitenwind $= 0{,}0000408\ v_1^2$.

Wird angenommen, dafs durchschnittlich sowohl in der Längsrichtung des Zuges wie rechtwinklich dagegen ein Wind von 1 m Geschwindigkeit herrscht, so steigert sich der konstante Theil des Widerstandskoeffizienten um 0,0000131 + 0,0000408 = 0,0000539, also auf rund 0,0028.

Nach diesen Erörterungen ist der Widerstandskoeffizient der Eisenbahnzüge demnach:

(Gl. 1) . . . $w = 0{,}0028 + 0{,}000016\ v^2$.

Der Widerstandskoeffizient soll hiernach für Güterzüge, deren mittlere Geschwindigkeit 7 m ist, zu $w = 0{,}0036$, für Personenzüge bei einer mittleren Geschwindigkeit von 13 m zu 0,0055 und für Schnellzüge bei einer mittleren Geschwindigkeit von 18 m zu 0,008 angenommen werden. Die mittlere Geschwindigkeit ist unter Ausschlufs des Aufenthalts an den Stationen, also für die Fahrt von Station zu Station, zu bestimmen.

Ueber die Vergröfserung des Zugwiderstandes in den Kurven sind bekanntlich vielfache praktische Versuche und theoretische Untersuchungen angestellt, ohne bis jetzt allgemein als zutreffend anerkannte Ergebnifse zu erreichen. Es sind auf den Kurvenwiderstand so mancherlei wechselnde Umstände von Einfluſs, dafs derselbe in voller Schärfe allgemein sich überhaupt nicht angeben läfst. Am zutreffendsten erscheint es wohl nach dem Vorgange von Kaven's und Baumeister's den Kurven-Widerstands-Koeffizienten durch die einfache Formel:

$$c = \frac{1}{r}$$

zu geben, wenn r der Krümmungshalbmesser der Kurve in Metern ist.*)

*) In früheren Untersuchungen habe ich statt dessen $c = \frac{1{,}7}{r} - 0{,}002$ gesetzt, was für mittlere Werthe zwischen $r = 250$ und $r = 600$ gut pafst, aber für kleinere und gröfsere Krümmungshalbmesser weniger gut mit der Erfahrung stimmt, als die jetzt gewählte einfachere Formel.

Ist der Centriwinkel einer Kurve $= \alpha$ Grad, so ist ihre Länge λ in Kilometern, wenn r in Metern angegeben wird, $= 0{,}0000175\ \alpha r$. Man erhält daher die zur Ueberwindung des Kurven-Widerstandes für den Uebergang einer Tonne zu leistende Arbeit in Tonnen-Kilometern $= c\lambda = \frac{1}{r} \cdot 0{,}0000175\ \alpha r$ $= 0{,}0000175\ \alpha$ oder abgerundet $= 0{,}000018\ \alpha$.

Zur Bestimmung der Arbeit, welche die Ueberwindung des Kurven-Widerstandes für eine Bahntrafse erfordert, braucht man also nur die Summe der Centriwinkel aller Kurven zu kennen.

§ 8.

Die Zugkraft der Lokomotiven.

Die Zugkraft der Lokomotiven findet ihre Grenze in der Gröfse der gleitenden Reibung der Triebräder auf den Schienen oder auch in der Dampfentwicklungsfähigkeit des Lokomotivkessels oder auch in den Konstruktionsverhältnissen einzelner Maschinentheile.

Ist L das Gewicht der Lokomotive und des Tenders, αL der auf den Treibrädern ruhende Theil des Gesammtgewichts, β der Koeffizient der gleitenden Reibung zwischen Rad und Schiene, so kann die Zugkraft der Lokomotive höchstens $Z = \alpha\beta L$ sein.

Entspricht die Dampfentwicklungsfähigkeit des Lokomotivkessels N Pferdekräften, wobei $N = n L$ gesetzt werde, ist ferner die verlangte Fahrgeschwindigkeit v Meter in der Sekunde, so beträgt die äufserste Zugkraft $Z = \frac{75\ n}{v} L$.

Ist die Kolbenfläche der Dampfcylinder $= \frac{d^2 \pi}{4}$, der Dampfdruck $= p$, der Füllungsgrad der Dampfcylinder $= a$ und der Kolbenhub $= h$, so wird bei einer Triebradumdrehung in

den beiden Dampfcylindern eine Arbeit $a\,p\,h\,d^2\,\pi$ verrichtet, während die Lokomotive bei einem Triebraddurchmesser D einen Weg $D\pi$ zurücklegt, wonach die Zugkraft der Lokomotive $Z = \frac{a\,p\,h\,d^2}{D}$ ist. Wäre beispielsweise $d = 55$ cm, $h = 60$ cm, $D = 120$ cm, $p = 10$ kg für den qcm, so wäre $Z = a \cdot 15125$ kg. Es wird, wie diese beispielsweise gewählten Annahmen zur Genüge zeigen, die Zugkraft wohl nur ganz ausnahmsweise in den Konstruktionsverhältnifsen der Lokomotive eine praktisch in Betracht kommende Begrenzung finden.

Der Reibungswiderstand wird, da der Koeffizient α, je nachdem alle Lokomotiv- und Tenderachsen gekuppelt sind oder nur eine Triebachse vorhanden ist, zwischen 1 und 0,2 schwanken kann, und da der Koeffizient β im Flachlande zu $^1/_6$, im Hügellande und Gebirge zu $^1/_7$, in Tunneln zu $^1/_8$ oder im ungünstigsten Falle nur zu $^1/_{10}$ anzunehmen ist, die Zugkraft zwischen $1 \cdot {}^1/_6$ und $^1/_5 \cdot {}^1/_{10}$ also zwischen 0,167 L und 0,02 L eingrenzen.

Die Dampfentwicklung wird, da die Zahl der Pferdekräfte, wenn das Lokomotivgewicht in kg angegeben ist, zu 0,006 L anzunehmen ist, die Zugkraft auf 0,15 L steigern lassen, wenn man sich mit einer Geschwindigkeit von 3 m in der Sekunde begnügt, aber auf 0,02 L beschränken, wenn man eine Geschwindigkeit von 22,5 m verlangt.

Setzt man nun, indem man mit ε den Zugkraftskoeffizienten bezeichnet, $Z = \varepsilon L$, so wird mit Rücksicht auf die Dampfentwickelung wie mit Rücksicht auf den Reibungswiderstand der Triebräder auf den Schienen ε zwischen 0,02 und 0,16 schwanken können und man wird in jedem Falle den kleinsten der aus beiden Umständen sich ergebenden Werthe für den Zugkraftskoeffizienten in Rechnung stellen müssen.

§ 9.

Maſsgebende Steigung, schädliche und unschädliche Steigungen.

Ist Q das Gewicht der sämmtlichen Wagen, L das Gewicht der Lokomotive und des Tenders, w der Widerstandskoeffizient für den Zug und s das Steigungsverhältniſs der Bahn, so ist bei der Bergfahrt eine Zugkraft $Z = (Q + L)(w + s)$ erforderlich. Zur Bestimmung des Zuggewichts, welches eine Lokomotive bei dem Zugkraftskoeffizienten z die Steigung aufwärts fördern kann, erhält man die Gleichung:

$$z L = (Q + L)(w + s)$$

und hieraus:

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L.$$

Diejenige Steigung s, welche zur Berechnung des Zuggewichts dient, heiſst die maſsgebende Steigung:

Meistens ist die steilste auf der Bahnlinie vorkommende Steigung die maſsgebende. Ausnahmsweise können steile Strecken von geringer Länge für die Bestimmung des Zuggewichts unberücksichtigt bleiben, sobald es als zuläſsig erachtet wird, dieselben mit Anlauf, das heiſst unter theilweiser Aufzehrung der lebendigen Kraft des Zuges (vergl. § 26), zu ersteigen. Kommen aber innerhalb der steilsten Strecken Kurven vor, deren Widerstandskoeffizient $= c$ ist, so ist zur Feststellung der maſsgebenden Steigung dem steilsten Steigungsverhältniſse s noch dieser Kurvenwiderstandskoeffizient c hinzuzufügen. Kämen beispielsweise in einer Bahnlinie Steigungsverhältniſse in gerader Strecke von 0,012 vor, daneben aber Steigungen von 0,010 in Kurven von 300 m Halbmesser, deren Widerstandskoeffizient $c = 0{,}0033$ ist, so wäre als maſsgebende Steigung $0{,}010 + 0{,}0033 = 0{,}0133$ in Rechnung zu stellen.

Die maſsgebende Steigung ist also unter Auſserachtlassung ausnahmsweise vorkommender Anlaufsteigungen nach derjenigen

Strecke zu bemessen, in welcher das Steigungsverhältnifs unter Hinzufügung des Widerstandskoeffizienten der darin vorkommenden Kurven am gröfsesten wird.

Auf Steigungen, welche so gering sind, dafs auf der Thalfahrt noch Zugkraft aufgewendet werden mufs, welche also kleiner als w sind, ist die Zugkraft bei der Thalfahrt:

$$Z_{II} = (Q + L)\ (w - s),$$

so dafs das Mittel zwischen dieser und der Zugkraft bei der Bergfahrt:

$$Z_{I} = (Q + L)\ (w + s)$$

sich zu:

$$Z = (Q + L)\ w$$

ergiebt, also genau so grofs wie auf der Horizontalen.

Für den Fall, dafs die in beiden Richtungen zu befördernden Lasten gleiche Gröfse haben, sind also Steigungen, welche gleich oder kleiner als der Widerstandskoeffizient w sind, nicht theurer im Betriebe als horizontale Strecken. Steigungen, welche kleiner sind als w, werden defshalb unschädliche Steigungen genannt, im Gegensatze zu den schädlichen Steigungen, welche gröfser als w sind. Für den Güterverkehr sind also Steigungen bis zu 0,0036 unschädlich, für die Personenzüge aber bis zu 0,0055.

Die Annahme, dafs in beiden Richtungen gleich grofse Lasten zu befördern sind, trifft für Eisenbahnen in den meisten Fällen annähernd zu, da das Gewicht der Lokomotiven und Wagen, welches unter allen Umständen in beiden Richtungen befördert werden mufs, die gröfsere Hälfte, ja beinahe $^2/_3$ der Gesammtlast bildet. Ist aber der Verkehr in einer Richtung gröfser als in der anderen, so sind alle in der Hauptrichtung des Verkehrs ansteigenden Strecken schädlich, alle in der Richtung des Hauptverkehrs fallenden Strecken aber nicht allein unschädlich, sondern sogar billiger im Betriebe, als die Hori-

zontale, so lange das Gefälle ein bestimmtes Maſs nicht überschreitet.

Wie die Fälle eines in beiden Richtungen ungleichen Verkehrs zu behandeln sind, soll später (§ 14) gezeigt werden; zunächst soll, wie es hinreichend genau meistens vorkommt, ein in beiden Richtungen gleich groſser Verkehr vorausgesetzt werden. Die Grenze der unschädlichen Steigungen, welche dann im Allgemeinen gleich dem Widerstandskoeffizienten ist, kann aber unter Umständen kleiner oder gröſser als dieser sein.

Auf Flachlandbahnen ist zuweilen die maſsgebende Steigung kleiner als der Widerstandskoeffizient w, wodurch dann auch die Grenze der unschädlichen Steigungen auf diesen kleineren Werth sich ermäſsigt.

In Kurven erhöht sich dagegen die Grenze der unschädlichen Steigungen. Ist c der Kurven-Widerstand, so wird die Zugkraft für die Bergfahrt:

$$Z_{\text{I}} = (Q + L)\,(w + s + c)$$

und für die Thalfahrt, so lange noch nicht gebremst zu werden braucht:

$$Z_{\text{II}} = (Q + L)\,(w - s + c),$$

also im Durchschnitt für beide Richtungen zu:

$$Z = (Q + L)\,(w + c)$$

wie in horizontaler Strecke. Demnach übersteigt die Grenze der unschädlichen Steigungen in Kurven das Maſs des Widerstandskoeffizienten um die Gröſse des Kurvenwiderstandskoeffizienten.

§ 10.

Die Betriebskosten der Strecke.

Die Betriebskosten sind mit Ausschluſs aller für Aufnahme und Abgabe des Verkehrs aufzuwendenden Kosten, also nach Ausscheidung der Stations- und Expeditionskosten, zu ermitteln, so daſs nur die Kosten der Beförderung auf der Strecke

in Rechnung kommen, und diese auch nur in der Gröfse, in welcher sie von der Verkehrsmenge abhängig sind, so dafs die hiervon unabhängigen Kosten für Bahn-Unterhaltung und Aufsicht ebenfalls unberücksichtigt bleiben. Es kommen demnach nur die Kosten für den Fahrdienst und für den Zugförderungsdienst in Rechnung.

Die Kosten eines Lokomotiv-Km wurden in § 5 zu $B = B_0 + aZ$ bestimmt. Setzt man eine volle Ausnutzung der Lokomotivkraft voraus, so dafs nach § 8 die Zugkraft $Z = \varepsilon L$ wird, und bezeichnet die Kosten des Lokomotiv-Km für diesen Fall mit B_1, setzt also $B_1 = B_0 + a\varepsilon L$, so entstehen für einen Zug, dessen Gewicht ohne Lokomotive und Tender Q-Tonnen beträgt, auf gerader horizontaler Bahn für den Tonnen-Km die Betriebskosten:

$$k_0 = f + \frac{B_1}{Q}$$

wobei f die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Km nach § 4 bezeichnet. Nach Einsetzung des Werthes für B_1 entsteht:

$$k_0 = f + \frac{B_0}{Q} + \frac{a\varepsilon L}{Q}.$$

Da man aus der Gleichsetzung von Zugwiderstand und Zugkraft:

$$(Q + L)\, w = \varepsilon L$$

die Gröfse des beförderten Zuggewichts zu:

$$Q = \frac{\varepsilon - w}{w} L$$

erhält, so folgt nach Einsetzung derselben:

(Gl. 2) . . $$k_0 = f + \frac{B_0}{L} \frac{w}{\varepsilon - w} + \frac{a\varepsilon w}{\varepsilon - w}.$$

Von den drei Gliedern der rechten Seite giebt das erste die Fahrdienstkosten, das zweite die Kosten des Fahrdienstes der Lokomotive und das dritte die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive.

Setzt man für den Güterverkehr die früher (§ 4, 5 und 7) ermittelten Werthe $f = 0{,}15$, $B_0 = 32$, $a = 25$ und $w = 0{,}0036$ ein, nimmt man ferner das Gewicht einer Güterzugslokomotive zu $L = 60$ Tonnen an und den Zugkraftskoeffizienten $z = 0{,}05$, so folgt:

$$k_0 = 0{,}15 + 0{,}041 + 0{,}097 = 0{,}288 \text{ ₰}.$$

Nimmt man, entsprechend den auf dem preußischen Bahnnetze im Jahre 1885—86 vorgekommenen Betriebsverhältnißen, den Lade-Koeffizienten b, das heißt das Verhältniß der Rohlast, mit Ausschluß der Lokomotive und des Tenders, zur Nutzlast zu $2^1/_3$ an, so ergeben sich die Betriebskosten auf gerader horizontaler Bahn für den Nutztonnen-Km zu 0,672 ₰.

Für den Personenverkehr ist $B_0 = 27$, $a = 25$, $w = 0{,}0055$, f für die Tonne der Personenzüge $= 0{,}405$, so daß bei einem Gewichte der Personenzugslokomotive von 54 Tonnen und einen Zugkraftskoeffizienten derselben von 0,02 die Betriebskosten für den Tonnen-Km der Personenzüge sind:

$$k_0 = 0{,}405 + 0{,}190 + 0{,}190 = 0{,}785 \text{ ₰},$$

mithin unter der Berücksichtigung, daß $1^1/_3$ Tonnen Zuglast auf eine Person entfallen, die Kosten für den Personen-Km auf gerader horizontaler Bahn gleich 1,047 ₰.

Für eine Flachlandbahn, deren maßgebende Steigung s ist, und auf welcher nur unschädliche Steigungen und Kurven, deren Widerstand $= c$ ist, vorkommen, ist die durchschnittlich erforderliche Zugkraft $(Q + L)(w + c)$. Die Kosten eines Lokomotiv-Km sind daher gleich $B_0 + a(Q + L)(w + c)$ und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer:

$$k_1 = f + es + \frac{B_0 + a(Q + L)(w + c)}{Q}$$

oder nach Einsetzung des Werthes:

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L.$$

(Gl. 3.) $k_1 = f + es + \frac{B_0}{L}\frac{(w+s)}{(z-w-s)} + \frac{azw}{z-w-s} + \frac{azc}{z-w-s}$.

In dieser Gleichung giebt das erste Glied die Fahrdienstkosten, das zweite Glied die Bremserkosten, das dritte die Kosten des Fahrdienstes der Lokomotive, das vierte die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive in geraden Strecken und das fünfte Glied die Kosten der Mehrarbeit der Lokomotive in Kurven.

Kommen in einer Bahnlinie, deren maßgebende Steigung s ist und welche Kurven vom Widerstande c hat, schädliche Steigungen von der Größe s_1 vor, so sind die Lokomotivkosten für die Bergfahrt $B_0 + a\,(Q + L)\,(w + s_1 + c)$, dagegen für die Thalfahrt, bei welcher der Zug gebremst und ohne Zugkraftsleistung der Lokomotive abwärts fährt $= B_0$, daher im Durchschnitt für beide Richtungen $B_0 + \frac{a}{2}(Q+L)(w+s_1+c)$.

Die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer sind daher:

$$k_{11} = f + es + \frac{B_0 + {}^1/_2\, a\,(Q + L)\,(w + s_1 + c)}{Q}$$

oder nach Einsetzung des Werthes $Q = \frac{(w+s)\,L}{z-w-s}$.

(Gl. 4.) . . $k_{11} = f + es + \frac{B_0}{L}\frac{(w+s)}{(z-w-s)} + \frac{az}{z-w-s}\cdot\frac{w+s_1}{2}$

$$+ \frac{az}{z-w-s}\cdot\frac{c}{2}.$$

Eine Vergleichung dieser Formel mit derjenigen für die Betriebskosten auf unschädlichen Steigungen zeigt die bemerkenswerthe Thatsache, daß die durch Kurven entstehende Vermehrung der Betriebskosten in schädlichen Steigungen nur halb so groß ist als in unschädlichen Steigungen. Diese Thatsache wird man übrigens auch ohne jede Rechnung erkennen, wenn man be-

denkt, dafs die Kurven in unschädlichen Steigungen in beiden Fahrrichtungen vermehrten Dampfverbrauch veranlassen, dagegen in schädlichen Steigungen nur bei der Bergfahrt.

§ 11.

Gleichwerthige Steigung.

Aus den entwickelten Formeln für die Betriebskosten des Tonnen-Kilometers auf verschiedenen Steigungen lassen sich leicht die Betriebskosten für eine ganze Bahnlinie bestimmen.

Die Fahrdienstkosten, die Bremserkosten und die Kosten für den Fahrdienst der Lokomotive sind für Strecken mit schädlichen und unschädlichen Steigungen, für gerade Linien und Kurven die gleichen; sie wachsen lediglich mit der Länge der Bahnlinie und sind für eine Linie von l Km Länge für den Uebergang einer Tonne:

$$K_0 = \left\{ f + \varepsilon s + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)} \right\} l.$$

Die Kosten, welche die Arbeitsleistung der Lokomotive auf geraden Strecken mit unschädlicher Steigung verursacht, sind überall wie auf horizontaler Bahn, also wenn l_0 die Länge aller Strecken mit unschädlicher Steigung bezeichnet, gleich:

$$K_1 = \frac{a z}{z - w - s} w l_0.$$

Die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive auf einer schädlichen Steigung von der Länge l_{11} und dem Steigungsverhältnifs s_1 sind für den Uebergang einer Tonne Rohlast:

$$k_{11} = \frac{a z}{z - w - s} (\tfrac{1}{2} w l_{11} + \tfrac{1}{2} s_1 l_{11}).$$

Da $s_1 l_{11}$ gleich der durch die Steigung s_1 auf die Länge l_{11} erstiegenen Höhe ist, welche mit h_1 bezeichnet werden möge, so kann man auch schreiben:

$$k_{II} = \frac{a z}{z - w - s} (1/2\ w l_{II} + 1/2\ h_1).$$

Ist nun l_1 die Gesammtlänge aller in schädlicher Steigung liegenden Strecken und h die Gesammthöhe, welche durch alle diese schädlichen Steigungen erstiegen wird, ebenfalls in Kilometern ausgedrückt, so sind die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive für den Uebergang einer Tonne Rohlast auf allen schädlichen Steigungen:

$$K_{II} = \frac{a z}{z - w - s} (1/2\ w l_1 + 1/2\ h).$$

Der Kurvenwiderstand $c\lambda$ für eine Kurve von der Länge λ und dem Centriwinkel α ist nach § 7 für den Uebergang einer Tonne Last = 0,000018 α. In unschädlicher Steigung sind daher die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive, welche durch eine Kurve vom Widerstande c und der Länge λ hervorgerufen werden:

$$k_{III} = \frac{a z}{z - w - s} c\lambda$$

oder

$$k_{III} = \frac{a z}{z - w - s} \cdot 0{,}000018\ \alpha.$$

während die Kosten nur halb so groſs sein würden, wenn die Kurve in schädlicher Steigung läge.

Ist nun die Summe der Centriwinkel aller Kurven in unschädlicher Steigung = α_0 und die Summe der Centriwinkel aller Kurven in schädlicher Steigung = α_1, so sind die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive, welche sämmtliche Kurven der Bahnlinie zusammen verursachen:

$$K_{III} = \frac{a z}{z - w - s} \cdot 0{,}000018\ (\alpha_0 + 1/2\ \alpha_1).$$

Man erhält hiernach die Betriebskosten für den Uebergang einer Tonne Rohlast über die Bahnlinie von der

Länge $l = l_0 + l_1$ bei der maſsgebenden Steigung s zu $K = K_0 + K_1 + K_{II} + K_{III}$ oder zu:

$$K = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)} \right\} l + \frac{az}{z - w - s} \left\{ w l_0 + {}^1/_2 w l_1 + {}^1/_2 h + 0{,}000018 (\alpha_0 + {}^1/_2 \alpha_1) \right\}$$

Zur Vereinfachung dieser Formel wurde der Klammer-Ausdruck des letzten Gliedes von mir Traſsirungsmodul genannt und mit p bezeichnet, so daſs entsteht:

$$\text{(Gl. 5 . . } K = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)} \right\} l + \frac{azp}{z - w - s}$$

Baumeister und Schübler, welche die von mir hergeleitete Formel in den bereits erwähnten Schriften zu anderen Untersuchungen benutzten, haben zur Vereinfachung der Form dieser Gleichung andere Vorschläge gemacht, indem der erstere aus dem Klammer-Ausdrucke des letzten Gliedes der Gleichung den mittleren Zugwiderstand m ableitete, also

$$ml = wl_0 + {}^1/_2 wl_1 + {}^1/_2 h + 0{,}000018 (\alpha_0 + {}^1/_2 \alpha_1)$$

mithin

$$K = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s) + azmL}{L (z - w - s)} \right\} l.$$

setzte, wogegen Schübler eine einheitliche geradlinige Steigung s_{II} für die ganze Bahnlinie ermittelte, welche die gleichen Betriebskosten wie die wechselnd gestaltete Traſse erforderte. Diese einheitliche gradlinige Steigung, welche Schübler die stellvertretende Steigung nannte, welche ich aber gleichwerthige Steigung nenne, ergiebt sich aus der Gleichung:

$${}^1/_2 wl + {}^1/_2 s_{II} l = wl_0 + {}^1/_2 wl_1 + {}^1/_2 h + 0{,}000018 (\alpha_0 + {}^1/_2 \alpha_1)$$

zu:

$$\text{(Gl. 6)} \quad s_{II} = \frac{1}{l} \left\{ wl_0 + h + 0{,}000018 (2 \alpha_0 + \alpha_1) \right\}$$

oder

$$s_{11} = \frac{1}{l} (w l_0 + h + 2 \sigma \lambda_0 + \sigma \lambda_1)$$

wenn λ_0 die Gesammtlänge der Kurven in unschädlicher und λ_1 in schädlicher Steigung ist.

Die gleichwerthige Steigung findet man also, indem man annimmt, dafs durch die ganze Bahnlänge l eine Höhe erstiegen wird, welche gleich der Höhe h ist, die durch alle schädlichen Steigungen erreicht wird, unter Hinzufügung einer Höhe $w l_0$, welche durch alle unschädlichen Steigungen erreicht werden würde, wenn dieselben das Steigungsverhältnifs w hätten, und unter weiterer Hinzufügung des doppelten Widerstandes aller Kurven in unschädlicher Steigung und des einfachen Widerstandes aller Kurven in schädlicher Steigung.

Durch Einführung der gleichwerthigen Steigung s_{11} erhält man die Kosten für den Uebergang einer Tonne Rohlast über die ganze Bahnlinie zu:

(Gl. 7) $$K = \left\{ f + \sigma s + \frac{B_0 (w + s) + 1/2 \, a z L (w + s_{11})}{L (z - w - s)} \right\} l.$$

Es ist zu beachten, dafs die mafsgebende Steigung, welche auf der rechnungsmäfsig zu Grunde gelegten Linie mit gleichwerthiger Steigung nicht mehr vorkommt, dennoch für die Belastung der Züge als bestimmend anzunehmen bleibt.

Es ist ferner hervorzuheben, dafs die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr eine andere als für den Personenverkehr ist; wie an dem folgenden Beispiele erläutert werden möge.

Eine Bahnlinie von 100 Km Länge enthält 50 Km mit Steigungen unter 0,0036, 30 Km mit Steigungen zwischen 0,0036 und 0,0055 mit einer Gesammtsteighöhe von 0,14 Km und 20 Km mit Steigungen über 0,0055 und einer Gesammtsteighöhe von 0,26 Km. In der ersten Gruppe von Steigungen kommen Kurven vor von insgesammt 1000° Centriwinkel.

in der zweiten Gruppe der Steigungen Kurven von 900° Centriwinkel und in der dritten Gruppe der Steigungen Kurven von 600° Centriwinkel.

Für den Güterverkehr ist $w = 0{,}0036$, $l_0 = 50$, $l_1 = 50$, $h = 0{,}4$, $\alpha_0 = 1000$, $\alpha_1 = 1500$, also:

$$s_{II} = \frac{1}{100}\{0{,}0036 \cdot 50 + 0{,}4 + 0{,}000018\,(2 \cdot 1000 + 1500)\}$$
$$= 0{,}00643.$$

Für den Personenverkehr ist $w = 0{,}0055$, $l_0 = 80$, $l_1 = 20$, $h = 0{,}26$, $\alpha_0 = 1900$, $\alpha_1 = 600$, also:

$$s_{II} = \frac{1}{100}\{0{,}0055 \cdot 80 + 0{,}26 + 0{,}000018\,(2 \cdot 1900 + 600)\}$$
$$= 0{,}00779.$$

§ 12.

Bestimmung des Zugkrafts-Koeffizienten.

Mit der durch Kuppelung der Achsen erreichbaren Steigerung der Zugkraft der Lokomotiven kann man das Zuggewicht vermehren, dadurch die von der Zugkraftsleistung unabhängigen Kosten der Lokomotive auf eine gröfsere Anzahl von Einheiten vertheilen und dementsprechend die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer verringern.

Bei dem durchschnittlichen Gewicht der Güterzuglokomotiven von 60 Tonnen, einschliefslich des Tenders, ist das auf einer Steigung von 0,0036 fortzuschaffende Zuggewicht:

$$Q = \frac{z - 0{,}0036 - 0{,}0036}{0{,}0036 + 0{,}0036}\ 60$$

oder

$$Q = 8333\ z - 60 \text{ Tonnen.}$$

Hat die Lokomotive $0{,}006\ L$ Pferdestärken oder $75 \cdot 0{,}006 \cdot L = 0{,}45\ L$ Meter-Kilogramm Arbeitsleistung, so ist die bei einer Zugkraft von $z\,L$ Kilogramm mögliche Geschwindigkeit in Metern in der Sekunde:

$$v = \frac{0{,}45}{z}.$$

Die Betriebskosten auf einer Flachlandbahn, welche keine schädliche Steigungen hat, sind nach Gleichung 3 für den Tonnen-Kilometer der Rohlast:

$$k = 0{,}15 + 2 \cdot 0{,}0036 + \frac{32\ (0{,}0036 + 0{,}0036)}{60\ (z - 0{,}0036 - 0{,}0036)} + \frac{25 \cdot z \cdot 0{,}0036}{z - 0{,}0036 - 0{,}0036}$$

oder

$$k = 0{,}157 + \frac{0{,}00384 + 0{,}09\ z}{z - 0{,}0072}\ \vartheta.$$

Für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten erhält man hiernach die in der Tabelle III angegebenen Zuggewichte, Fahrgeschwindigkeiten und Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast.

Tabelle III.

Gröfse des Zuggewichts, der Fahrgeschwindigkeit und der Betriebskosten des Güterverkehrs auf Flachlandbahnen für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten.

Anzahl der gekuppelten Triebachsen der Lokomotive . .	1	2			3		
Gröfse des Zugkraftskoeffizienten	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Gewicht des Zuges Q in Tonnen	190	273	357	440	523	607	690
Fahrgeschwindigkeit v in Metern in der Sekunde . . .	15,0	11,25	9,0	7,5	6,4	5,6	5,0
Betriebskosten f. den Tonnen-Km der Rohlast in Pfennigen	0,444	0,384	0,352	0,332	0,319	0,309	0,361

In der Formel, nach welcher die in dieser Tabelle enthaltenen Betriebskosten berechnet wurden, ist nicht be-

rücksichtigt, daſs die schädlichen Reibungswiderstände der Maschinentheile und die Unterhaltungskosten der Lokomotive mit der Anzahl der gekuppelten Treibachsen zunehmen, ferner ist nicht berücksichtigt, daſs mit der Zunahme des Zuggewichts und der damit verbundenen Vergröſserung der Länge der Züge die Kosten der Wagenverschiebung und durch die erforderliche gröſsere Länge der Nebengleise auch die Anlagekosten der Bahnhöfe wachsen; endlich ist unberücksichtigt geblieben, daſs mit der durch die gröſsere Zugkraftsleistung nöthig werdenden Verminderung der Fahrgeschwindigkeit die auf den Kilometer entfallenden Kosten des Zugpersonals und der Zinsen des Anschaffungskapitals der Lokomotiven und Wagen gröſser werden. Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände würden die Betriebskosten mit der Vergröſserung des Zugkraftskoeffizienten weniger rasch abnehmen als die Tabelle zeigt und bald eine untere Grenze erreichen, von welcher ab sie bei weiterer Vergröſserung des Zugkraftskoeffizienten sogar zunehmen würden. In Würdigung dieser Umstände wird man auf Flachlandbahnen in der Regel die Güterzugslokomotiven mit nicht mehr als zwei gekuppelten Achsen versehen, so daſs der Zugkraftskoeffizient zwischen 0,05 und 0,06 bleibt.

Für eine Gebirgsbahn, deren Steigung = 0,025 ist, erhält man bei einem Lokomotivgewichte von 60 Tonnen und bei einem Zugkraftskoeffizienten z das Zuggewicht zu:

$$Q = \frac{z - 0{,}025 - 0{,}0036}{0{,}025 + 0{,}0036}\, 60 = 2098\, z - 60$$

und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast nach Gleichung 4 zu:

$$k = 0{,}15 + 2 \cdot 0{,}025 + \frac{32\,(0{,}0036 + 0{,}025)}{60\,(z - 0{,}0036 - 0{,}025)} + \frac{\frac{1}{2} \cdot 25 \cdot z \cdot (0{,}0036 + 0{,}025)}{z - 0{,}0036 - 0{,}025}$$

oder

$$k = 0{,}2 + \frac{0{,}01526 + 0{,}3575\ s}{s - 0{,}0286}\ \delta.$$

Die folgende Tabelle IV giebt die Gröfsen des Zuggewichts, der Fahrgeschwindigkeit und der Betriebskosten für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten.

Tabelle IV.

Gröfse des Zuggewichts, der Fahrgeschwindigkeit und der Betriebskosten des Güterverkehrs auf Gebirgsbahnen mit 0,025 Steigung für verschiedene Werthe des Widerstandskoeffizienten.

Anzahl der gekuppelten Triebachsen der Lokomotive . .	2	3			4		
Gröfse des Zugkraftskoeffizienten	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
Gewicht des Zuges Q in Tonnen	66	87	108	129	150	171	192
Fahrgeschwindigkeit v in Metern in der Sekunde. . .	7,5	6,4	5,6	5,0	4,5	4,1	3,75
Betriebskosten f. den Tonnen-Km der Rohlast in Pfennigen	1,419	1,174	1,053	0,978	0,914	0,871	0,846

Aus den früher erörterten Gründen werden die Betriebskosten mit zunehmender Gröfse des Zugkraftskoeffizienten nicht ganz in dem Mafse abnehmen, wie die Tabelle es angiebt. Man wird besonders, um nicht zu einer unzweckmäfsig geringen Geschwindigkeit zu gelangen, den Zugkraftskoeffizienten auf eine Gebirgsbahn von 0,025 Steigung für die Güterzugslokomotive zu etwa 0,10 annehmen.

Der Zugkraftskoeffizient mufs nach den vorstehenden Rechnungen und Betrachtungen mit der Gröfse der mafs-

gebenden Steigung zunehmen und kann nach allen Erwägungen für Güterzugs-Lokomotiven zutreffend zu

$$z = 0{,}05 + 2s$$

festgesetzt werden.

Auf Gebirgsbahnen wird das Lokomotivgewicht für Güterzüge wohl über das mittlere Maſs von 60 Tonnen gesteigert, um stärkere Züge befördern zu können. Die Betriebskosten werden dadurch keine in Betracht kommende Verringerung erfahren und die für deren Berechnung benutzte Formel wird zutreffend bleiben, da die von der Arbeitsleistung der Lokomotive unabhängigen Kosten B_0 nahezu in dem gleichen Maſse wie das Lokomotivgewicht L wachsen.

Für den Werth des Zugkraftskoeffizienten $z = 0{,}05 + 2s$ ist das Zuggewicht der Güterzüge auf einer Bahn mit der maſsgebenden Steigung s:

$$Q = \frac{0{,}0464 + s}{0{,}0036 + s} \cdot 60$$

und die äuſserste Geschwindigkeit auf der Bergfahrt:

$$v = \frac{0{,}45}{0{,}05 + 2s}$$

nach welchen Formeln die Angaben der Tabelle V berechnet sind.

Tabelle V.

Gewicht und Geschwindigkeit der Güterzüge.

Maſsgebende Steigung s der Bahn . .	0,0036	0,006	0,010	0,015	0,025
Gewicht des Zuges Q	417	327	249	198	150
Geschwindigkeit auf der Bergfahrt in Metern und in der Sekunde . . .	8,0	7,2	6,4	5,6	4,5

Für die Personenzüge werden leichtere Lokomotiven von durchschnittlich 54 Tonnen Gewicht, einschlieſslich des Tenders, und mit kleineren Zugkraftskoeffizienten als für die Güterzüge verwendet.

Für eine Bahn, deren maſsgebende Steigung gleich dem Widerstandskoeffizienten der Personenzüge, also = 0,0055 ist, erhält man bei einem Zugkraftskoeffizienten z das mögliche Zuggewicht zu:

$$Q = \frac{z - 0{,}0055 - 0{,}0055}{0{,}0055 + 0{,}0055}\ 54$$

mithin

$$Q = 491\ z - 54.$$

Die Betriebskosten für die Tonne der Personenzüge sind nach Gleichung 3:

$$k = 0{,}405 + \frac{27\,(0{,}0055 + 0{,}0055)}{54\,(z - 0{,}0055 - 0{,}0055)} + \frac{25 \cdot z \cdot 0{,}0055}{z - 0{,}0055 - 0{,}0055}$$

also

$$k = 0{,}405 + \frac{0{,}0055 + 0{,}1375\ z}{z - 0{,}011}.$$

Die Fahrgeschwindigkeit ist, wenn die Pferdestärke der Lokomotive = 0,006 · L gesetzt wird, wie für die Güterzüge:

$$v = \frac{0{,}45}{z}.$$

In Tabelle VI sind die Zuggewichte, Geschwindigkeiten und Betriebskosten für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten zusammengestellt.

Tabelle VI.

Zuggewichte, Fahrgeschwindigkeiten und Betriebskosten für die Tonne der Personenzüge auf einer Bahn, deren maſsgebende Steigung = 0,0055 ist.

Anzahl der gekuppelten Triebachs.	2		3		
Gröſse des Zugkraftskoeffizienten	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Gewicht des Zuges in Tonnen .	44	93	142	191	241
Aeuſserste Fahrgeschwindigkeit b. d. Bergfahrt in Met. in d. Sekunde	22,5	15,0	11,3	9,0	7,5
Betriebskosten für die Tonne Zuggewicht in Pfennigen . .	1,321	0,968	0,784	0,717	0,685

Da bei Personenzügen nicht die Fortschaffung eines grofsen Zuggewichtes, sondern die Einhaltung einer grofsen Fahrgeschwindigkeit erforderlich ist, so wird man auf einer Bahn von dem angenommenen Steigungsverhältnifse den Zugkraftskoeffizienten nur zu einer Gröfse von etwa 0,03 anzunehmen haben. Man könnte daher mit einer Triebachse auskommen, wird aber doch in der Regel, um ein rascheres Anfahren der Züge möglich zu machen, zweifach-gekuppelte Maschinen verwenden.

Für eine Gebirgsbahn mit der mafsgebenden Steigung 0,025 ist das Zuggewicht des Personenzuges:

$$Q = 177\,z - 54$$

und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge sind:

$$k = 0{,}405 + \frac{0{,}01525 + 0{,}38125\,z}{z - 0{,}0305}.$$

In Tabelle VII sind die Zuggewichte, die Geschwindigkeiten bei der Bergfahrt und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten zusammengestellt.

Tabelle VII.

Zuggewichte, Geschwindigkeiten und Betriebskosten der Personenzüge auf einer Gebirgsbahn von 0,025 Steigung.

Anzahl der gekuppelten Triebachs.	2		3		
Gröfse des Zugkraftskoeffizienten	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Zuggewicht in Tonnen . . .	34	52	70	87	105
Geschwindigkeit auf der Bergfahrt in Metern und in der Sekunde	9,0	7,5	6,4	5,6	5,0
Betriebskosten für den Tonnen-Km d. Personenzüge in Pfennig.	2,165	1,698	1,467	1,329	1,238

Um das Zuggewicht nicht zu gering zu erhalten, aber auch die Geschwindigkeit nicht zu sehr ermäfsigen zu müssen, wird man für die Gebirgsbahn von 0,025 Steigung den Zugkraftskoeffizienten zu etwa 0,07 annehmen.

Allgemein ist nach der vorstehenden Rechnung der Zugkraftskoeffizient für Personenzüge anzunehmen zu:

$$z = 0{,}02 + 2s$$

wonach das Gewicht der Personenzüge:

$$Q = \frac{0{,}0145 + s}{0{,}0055 + s}\ 54$$

und die äufserste Geschwindigkeit auf der Bergfahrt:

$$v = \frac{0{,}45}{0{,}02 + 2s}$$

ist. Hiernach sind die Werthe der Tabelle VIII berechnet.

Tabelle VIII.

Gewicht und Geschwindigkeit der Personenzüge.

Mafsgebend. Steigung s der Bahn	0,0036	0,006	0,010	0,015	0,025
Gewicht des Zuges Q . . .	107	96	85	78	70
Erreichbare Geschwindigkeit v auf der Bergfahrt in Metern in der Sekunde	16,5	14,1	11,3	9,0	6,4

§ 13.

Näherungsformeln für die Berechnung der Betriebskosten und Kosten des Zug-Kilometers.

Setzt man den für den Zugkraftskoeffizienten der Güterzugs-Lokomotiven gefundenen Werth $z = 0{,}05 + 2\ s$ in die, für die Betriebskosten des Tonnen-Kilometers der Rohlast der

Güterzüge entwickelte Gleichung 4 ein, setzt in dieser Gleichung ferner $f = 0{,}15$, $e = 2$, $B_0 = 32$, $a = 25$, $L = 60$ und $w = 0{,}0036$, so erhält man:

$$k = 0{,}15 + 2s + \frac{0{,}00417 + 0{,}6233\,s + 0{,}625\,(s_1 + c) + 25\,s\,(s_1 + c)}{0{,}0464 + s}$$

Zur Bestimmung der Betriebskosten auf unschädlichen Steigungen ist in dieser Formel $s_1 + c = w = 0{,}0036$ zu setzen. Die Zahlen der Tabelle IX sind nach dieser Formel berechnet.

Tabelle IX.

Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge in Pfennigen für verschiedene Steigungsverhältnisse.

Mafs-gebende Steigung s	Betriebskosten f. d. Tonnen-Km auf unschädl. Steig. s_0	auf schädlichen Steigungen und in Krümmungen $s_1 + c =$ 0,006	0,010	0,015	0,025
1 : ∞	0,288	—	—	—	—
0,0036	0,337	—	—	—	—
0,006	0,366	0,402	—	—	—
0,010	0,410	0,447	0,509	—	—
0,015	0,458	0,498	0,563	0,644	-
0,025	0,539	0,581	0,651	0,739	0,911

Die Tabelle IX läfst erkennen, dafs die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge sich mit einem befriedigenden Grade von Genauigkeit durch die einfache Näherungsformel

Gl. 8.) . . . $k = 0{,}24 + 10\,s + 17\,(s_1 + c)$

ausdrücken lassen, wobei für unschädliche Steigungen wieder $s_1 + c = w = 0{,}0036$ gesetzt werden mufs. Läfst man die

Betriebskosten auf einer in ganzer Länge horizontalen und geraden Bahn aufser Betracht, welche ja praktisch keine Bedeutung haben, so bleibt der gröfseste Fehler, welcher bei Benutzung der Näherungsformel bei Steigungen bis zu 0,025 entsteht, unter 2 Proz. Für die Betriebskosten auf der mafsgebenden Steigung, also für $s_1 + c = s$ giebt die Gleichung 8 sogar eine Uebereinstimmung in voller Schärfe mit den Werthen der Tabelle IX.

Für den Personenverkehr wird durch Einsetzung des Zugkraftskoeffizienten der Personenzugs-Lokomotive $z = 0{,}02 + 2s$, sowie für $f = 0{,}405$, $B_0 = 27$, $a = 25$, $L = 54$ und $w = 0{,}0055$ aus Gleich. 4 erhalten:

$$k = 0{,}405 + \frac{0{,}004125 + 0{,}6375 s + 0{,}25 (s_1 + c) + 25 s (s_1 + c)}{0{,}0145 + s}.$$

Nach dieser Gleichung sind die Zahlen der Tabelle X berechnet, wobei für unschädliche Steigungen $s_1 + c = w = 0{,}0055$ einzusetzen ist.

Tabelle X.

Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge in Pfennigen für verschiedene Steigungsverhältnisse.

Mafsgebende Steigung s	Betriebskosten f. d. Tonnen-Km auf unschädlich. Steigung. s_0	auf schädlich. Steigungen u. in Krümmungen $s_1 + c =$ 0,010	0,015	0,025
1 : ∞	0,784	—	—	—
0,0055	0,893	—	—	—
0,010	0,945	1,037	—	—
0,015	0,986	1,081	1,187	—
0,025	1,035	1,135	1,246	1,468

Die Zahlen der Tabelle X zeigen, dafs die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge mit einem be-

friedigenden Grade von Genauigkeit durch die einfache Näherungsformel:

(G. 9.) . . . $k = 0{,}73 + 8\,s + 22\,(s_1 + c)$

berechnet werden können, wobei für unschädliche Steigungen $s_1 + c = w = 0{,}0055$ einzusetzen ist. Der gröfseste Fehler, welcher bei Berechnung nach dieser Näherungsformel gemacht wird, bleibt unter $1^1/_2$ Proz.

Auf den preufsischen Staatsbahnen war im Betriebsjahre 1885—86, wie schon früher angegeben, das Verhältnifs der unter Ausschlufs der Lokomotive und des Tenders bestimmten Rohlast zur Nutzlast, das ist der Ladungskoeffizient b, für den Güterverkehr $= 2^1/_3$, so dafs die Betriebskosten für den Nutztonnen-Kilometer betragen;

(Gl. 10.) . . $k = 0{,}56 + 23^1/_3\,s + 39^2/_3\,(s_1 + c)$.

Bei Beförderung einer Person wurden $1^1/_3$ Tonnen Rohlast fortgeschafft, so dafs die Betriebskosten für den Personen-Kilometer sich ergeben zu:

(Gl. 11.) . . $k = 0{,}973 + 10^2/_3\,s + 29^1/_3\,(s_1 + c)$.

Die Zahlen der Tabellen IX und X ergeben durch Multiplikation mit den Zug-Gewichten die Kosten eines Zug-Kilometers. Setzt man in die Gleichung, welche das Zuggewicht in Abhängigkeit von dem Zugkraftskoeffizienten und von der mafsgebenden Steigung ausdrückt,

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L$$

den Werth des Zugkraftskoeffizienten $z = 0{,}05 + 2\,s$, ferner $w = 0{,}0036$ und $L = 60$, so erhält man das Gewicht des Güterzuges zu:

$$Q = \frac{0{,}0464 + s}{0{,}0036 + s}\ 60 \text{ Tonnen}$$

und für $z = 0{,}02 + 2\,s$, $w = 0{,}0055$ und $L = 54$ das Gewicht der Personenzüge zu:

$$Q = \frac{0{,}0145 + s}{0{,}0055 + s}\ 54 \text{ Tonnen.}$$

Unter Benutzung der nach diesen Formeln sich ergebenden Zuggewichte sind die Zahlen der Tabellen XI und XII berechnet.

Tabelle XI.

Kosten eines Güterzug-Kilometers in Pfennigen.

Mafsgebende Steigung s	Zuggewicht in Tonnen Q	Kosten des Güterzug-Km: auf unschädlicher Steigung s_0	auf schädlichen Steigungen und in Krümmungen $s_1 + c =$ 0,006	0,010	0,015	0,025
1 : ∞	773	223	—	—	—	—
0,0036	437	140	—	—	—	—
0,006	328	120	138	—	—	—
0,010	249	102	111	126	—	—
0,015	198	91	99	112	128	—
0,025	150	81	87	98	111	137

Tabelle XII.

Kosten eines Personenzug-Kilometers in Pfennigen.

Mafsgebende Steigung s	Zuggewicht in Tonnen Q	Kosten des Personenzug-Km: auf unschädlicher Steigung s_0	auf schädl. Steigungen u. in Krümmungen $s_1 + c =$ 0,010	0,015	0,025
1 : ∞	142	111	—	—	—
0,0055	98	87	—	—	—
0,010	85	80	88	—	—
0,015	78	76	84	92	—
0,025	70	72	79	87	102

Es mufs daran erinnert werden, dafs die in den Tabellen IX bis XII und in den Gleichungen 8 bis 10 gegebenen

Kosten des Tonnen-, Personen- und Zug-Kilometers stets, wie es für die Aufgaben des Trafsirens erforderlich ist, nur die eigentlichen Betriebskosten der Strecke unter Ausschluſs der Bahnunterhaltungs- und der Bahnhofskosten sind und daher nicht unerheblich niedriger als die sonst gewöhnlich unter Einschluſs der letzteren Kosten mitgetheilten Angaben über die Betriebskosten erscheinen.

Eine Vergleichung der Kosten der Güter- und Personenzüge zeigt, daſs auf vollständig horizontaler und gerader Bahn ein Güterzug doppelt so theuer als ein Personenzug sein würde, dagegen auf Flachlandbahnen nur $1^1/_2$ mal und auf Gebirgsbahnen von 0,025 Steigung nur $1^1/_3$ mal so theuer als ein Personenzug ist.

Die Lokomotiven, welche bei den Kosten-Berechnungen stets zu einem Gewichte von 60 Tonnen für den Güterverkehr und von 54 Tonnen für den Personenverkehr angenommen wurden, werden auf Gebirgsbahnen häufig schwerer gewählt. Die Kosten für den Tonnen- oder Personen-Kilometer werden hierdurch aber nur in ganz unerheblichem Maſse oder gar nicht verringert, da die Fahrdienstkosten und die von der Arbeitsleistung der Lokomotiven abhängigen Kosten für den Tonnen- oder Personen-Kilometer die gleichen bleiben und die von der Arbeitsleistung der Lokomotive unabhängigen Kosten nahezu proportional mit dem Lokomotivgewichte wachsen, so daſs auch $\frac{B_0}{L}$ für verschiedene Lokomotivgewichte gleiche Gröſse behält. Auch wenn, wie auf Lokalbahnen geschieht, das Gewicht der Lokomotive kleiner angenommen wird, bleiben die unter Zugrundelegung eines Lokomotivgewichtes von 60 oder bezw. 54 Tonnen berechneten Betriebskosten für den Tonnen- und Personen-Kilometer nahezu die gleichen. Man hätte das Lokomotivgewicht auch ganz aus den Formeln für die Be-

triebskosten verschwinden lassen können, wenn man den unveränderlich bleibenden Betrag $\frac{B_0}{L} = b_0$ gesetzt hätte. Die Kosten des Zug-Kilometers wachsen dagegen nahezu im gleichem Verhältnifse mit dem Lokomotivgewichte. Da aber die Betriebskosten bei den Aufgaben des Trafsirens nicht nach der Zahl der Zug-Kilometer, sondern zweckmäfsiger nach der Zahl der Tonnen- und Personen-Kilometer berechnet werden, so ist es zuläfsig, für alle Fälle das gleiche Lokomotivgewicht von 60 Tonnen für den Güterverkehr und von 54 Tonnen für den Personenverkehr bei den Rechnungen zu Grunde zu legen. Wenn die Zahl der Zug-Kilometer ein Mal in Rechnung kommt, wird man bei abweichendem Gewichte der Lokomotive, beispielsweise bei 72 Tonnen einen solchen Zug als $\frac{72}{60} = 1{,}2$ Güterzüge in Rechnung stellen oder beziehungsweise als $\frac{72}{54} = 1{,}33$ Personenzüge.

§ 14.

Berechnung der Betriebskosten für den Fall, dafs der Verkehr in beiden Richtungen nicht gleich grofs ist.

Ueberwiegt der Verkehr in einer Richtung, welche aus diesem Grunde die Hauptrichtung genannt werden soll, so ist die Belastung der Züge in dieser Richtung stärker anzunehmen als in der entgegengesetzten, weil wegen der Rückfahrt der Lokomotiven und Wagen die Zahl der Züge in beiden Richtungen die gleiche sein mufs.

Ist der Nutzlastenverkehr in der Hauptrichtung gleich T_1, die Belastung eines Zuges durch die Nutzlast in dieser Richtung gleich Q_1, die Rohlast eines Zuges bQ_1, so folgt für die Nebenrichtung, deren Nutzlastenverkehr T_{11} und in welcher

die Nutzlast des Zuges $Q_{,,}$ ist, die Rohlast eines Zuges gleich $(b - 1)\ Q_{,} + Q_{,,}$. Setzt man $T_{,,} = r\,T_{,}$ also auch $Q_{,,} = r\,Q_{,}$ so ist die Rohlast eines Zuges in der Nebenrichtung gleich $(b + r - 1)\ Q_{,}$.

Liegt die maſsgebende Steigung in der Hauptrichtung, so ist:

$$b\,Q_{,} = \frac{z - w - s}{w + s}\,L.$$

Es kann dann in der Nebenrichtung eine steilere Steigung $s_{,}$ vorkommen, deren Grenzwerth durch die Gleichung:

$$(b + r - 1)\ Q_{,} = \frac{z - w - s_{,}}{w + s_{,}}\,L$$

zu:

(Gl. 12.) . . $$s_{,} = \frac{z\,b\,s + (1 - r)\,(z - w - s)\,w}{z\,b - (1 - r)\,(z - w - s)}$$

bestimmt wird.

Ist beispielsweise $b = 2^1/_3$, $z = 0{,}09$ $s = 0{,}02$ und $w = 0{,}0036$, so kann in der Nebenrichtung eine Steigung vorkommen:

für $r = {}^3/_4$ $s_{,} = 0{,}0218$
„ $r = {}^1/_2$ $s_{,} = 0{,}0244$
„ $r = {}^1/_4$ $s_{,} = 0{,}0273$
„ $r = 0$ $s_{,} = 0{,}0309.$

Kommt aber in der Nebenrichtung eine steilere, als die nach Gleichung 12 berechnete Steigung vor, so wird diese zur maſsgebenden Steigung.

Liegt die maſsgebende Steigung in der Hauptrichtung, so ist die Summe der in beiden Richtungen jährlich zu befördernden Züge:

$$n = 2\,\frac{T_{,}}{Q_{,}} = \frac{2\,b\,T_{,}\,(w + s)}{L\,(z - w - s)}$$

oder wenn der Gesammtverkehr $T_1 + r\,T_1 = T$ und daher $T_1 = \frac{T}{1+r}$ gesetzt wird:

(Gl. 13.) . . $$n = \frac{2\,b\,T}{1+r} \cdot \frac{(w+s)}{L\,(z-w-s)}.$$

Liegt dagegen die maſsgebende Steigung in der Nebenrichtung, in welchem Falle aus:

$$(b+r-1)\,Q_1 = \frac{z-w-s}{w+s}\,L$$

entsteht:

$$Q_1 = \frac{1}{b+r-1} \cdot \frac{(z-w-s)\,L}{w+s}$$

so wird die Zahl der Züge im Jahre:

(Gl. 14.) . . $$n_1 = 2\,\frac{(b+r-1)\,T}{1+r}\,\frac{w+s}{(z-w-s)\,L}.$$

Die Betriebskosten sollen zunächst für den Fall ermittelt werden, daſs die maſsgebende Steigung in der Hauptrichtung des Verkehrs liegt. Die verschieden geneigten Strecken der Bahn sind dabei für die Berechnung der Lokomotivkosten in vier Gruppen zu zerlegen.

1) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt nicht gebremst zu werden braucht und welche in der Hauptrichtung des Verkehrs ansteigen, von der Gesammtlänge l_0, der Gesammtsteigung h_0 und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_0 Grad beträgt.

Die Lokomotivkosten auf diesen Strecken für einen Zug in der Hauptrichtung sind:

$$B_0\,l_0 + a\,(b\,Q_1 + L)\,(w\,l_0 + h_0 + 0{,}000018\,\alpha_0)$$

oder da $(b\,Q_1 + L)\,(w+s) = z\,L$ sein muſs:

$$B_0\,l_0 + \frac{a\,z\,L}{w+s}\,(w\,l_0 + h_0 + 0{,}000018\,\alpha_0)$$

wogegen die Lokomotivkosten für einen Zug in der Nebenrichtung sind:

$$B_0 l_0 + a \{(b + r - 1) Q_1 + L\}(w l_0 - h_0 + 0{,}000018\, \alpha_0)$$

oder

$$B_0 l_0 + a (b Q_1 + L)(w l_0 - h_0 + 0{,}000018\, \alpha_0) - a (1 - r) Q_1 (w l_0 - h_0 + 0{,}000018\, \alpha_0)$$

woraus nach Einsetzung des Werthes für $Q_1 = \frac{z - w - s}{b (w + s)} L$ entsteht:

$$B_0 l_0 + \frac{a z L}{w + s} (w l_0 - h_0 + 0{,}000018\, \alpha_0) - (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} \cdot (w l_0 - h_0 + 0{,}000018\, \alpha_0).$$

Demnach sind die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in beiden Richtungen:

$$2 B_0 l_0 + \frac{2 a z L}{w + s} (w l_0 + 0{,}000018\, \alpha_0) - (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} \cdot (w l_0 - h_0 + 0{,}000018\, \alpha_0).$$

2) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt gebremst werden muſs und welche in der Hauptrichtung des Verkehrs ansteigen, von der Gesammtlänge l_1, der Gesammtsteigung h_1 und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_1 ist.

Die Lokomotivkosten für einen Zug in der Hauptrichtung betragen:

$$B_0 l_1 + a (b Q_1 + L)(w l_1 + h_1 + 0{,}000018\, \alpha_1)$$

oder

$$B_0 l_1 + \frac{a z L}{w + s} (w l_1 + h_1 + 0{,}000018\, \alpha_1)$$

und für einen Zug in der entgegengesetzten Richtung $B_0 l_1$, so daſs die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in jeder Richtung sind:

$$2 B_0 l_1 + \frac{a z L}{w + s} (w l_1 + h_1 + 0{,}000018\, \alpha_1)$$

3) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt nicht gebremst zu werden braucht und welche in der Hauptrichtung

des Verkehrs fallen, von der Gesammtlänge l_{II}, einem Gesammtgefälle h_{II} und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_{II} beträgt.

Die Lokomotivkosten für einen Zug in der Hauptrichtung des Verkehrs sind:

$$B_0 l_{II} + \frac{a z L}{w + s} (w l_{II} - h_{II} + 0{,}000018\ \alpha_{II})$$

und für einen Zug in der entgegengesetzten Richtung:

$$B_0 l_{II} + a \{(b = r + 1)\ Q_1 + L\} (w l_{II} + h_{II} + 0{,}000018\ \alpha_{II})$$

oder

$$B_0 l_{II} + \frac{a z L}{w + s} w l_{II} + h_{II} + 0{,}000018\ \alpha_{II})$$

$$- (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} \cdot (w l_{II} + h_{II} + 0{,}000018\ \alpha_{II})$$

so dafs die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in jeder Richtung sind:

$$2\ B_0 l_{II} + \frac{2 a z L}{w + s} (w l_{II} + 0{,}000018\ \alpha_{II})$$

$$- (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} \cdot (w l_{II} + h_{II} + 0{,}000018\ \alpha_{II}).$$

4) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt gebremst werden mufs und welche in der Hauptrichtung des Verkehrs fallen, mit einer Gesammtlänge l_{III}, einem Gesammtgefälle h_{III} und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_{III} beträgt.

Die Lokomotivkosten für einen Zug in der Hauptrichtung des Verkehrs sind $B_0\ l_{III}$ und in der entgegengesetzten Richtung:

$$B_0\ l_{III} + a \{(b + r - 1)\ Q_1 + L\} (w l_{III} + h_{III} + 0{,}000018\ \alpha_{III}).$$

Sonach sind, unter Berücksichtigung der früher vorgenommenen Umformungen, die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in jeder Richtung:

$$2\,B_0\,l_{III} + \frac{a\,z\,L}{w+s}\,(w\,l_{III} + h_{III} + 0{,}000018\,\alpha_{(III)}$$

$$-\,(1-r)\,\frac{a\,(z-w-s)\,L}{b\,(w+s)}\,(w\,l_{III} + h_{III} + 0{,}000018\,\alpha_{III}).$$

Nach dem Vorstehenden sind die Lokomotivkosten für die ganze Länge der Bahn $l = l_0 + l_I + l_{II} + l_{III}$ zusammen für je einen Zug in jeder Richtung:

$$2\,B_0\,l + \frac{2\,a\,z\,L}{w+s}\Big\{w\,l_0 + w\,l_{II} + {}^1/_2\,w\,l_I + {}^1/_2\,w\,l_{III} + {}^1/_2\,h_I + {}^1/_2\,h_{III} + 0{,}000018\,(\alpha_0 + \alpha_{II} + {}^1/_2\,\alpha_I + {}^1/_2\,\alpha_{III})\Big\}$$

$$-\,(1-r)\,\frac{a\,(z-w-s)\,L}{b\,(w+s}\Big\{w\,l_0 + w\,l_{II} + w\,l_{III} + h_{II} + h_{III} - h_0 + 0{,}000018\,(\alpha_0 + \alpha_{II} + \alpha_{III})\Big\}.$$

Die Fahrdienst- und Bremserkosten sind für den minder belasteten Zug in der Nebenrichtung, welcher die gleiche Zahl Wagen wie der Zug in der Hauptrichtung führt, ebenso groſs wie für den Zug in der Hauptrichtung, also zusammen für je einen Zug in jeder Richtung:

$$2\,(f + e\,s)\,l\,b\,Q_1$$

oder

$$2\,(f + e\,s)\,l\,\frac{(z-w-s)\,L}{w+s}.$$

In jeder Richtung sind jährlich nach Gleichung 13:

$$\frac{n}{2} = \frac{b\,T}{1 + r\,(z-w-s)\,L}\,\frac{w+s}{}$$

Züge zu befördern, so daſs die Betriebskosten für die ganze Bahnlinie betragen, wenn nach § 11 der Traſsirungsmodulus p eingeführt wird und ferner

$$w\,l_0 + w\,l_{II} + w\,l_{III} + h_{II} + h_{III} - h_0 + 0{,}000018\,(\alpha_0 + \alpha_{II} + \alpha_{III}) = p_0$$

gesetzt wird:

$$K = \frac{2\,b\,T}{1+r}\left\{\left(f + \varepsilon s + \frac{B_0\,(w+s)}{L\,(z-w-s)}\right) l + \frac{a\,z\,p}{z-w-s}\right\} - \frac{1-r}{1+r}\,a\,T\,p_0.$$

Da die Betriebskosten für eine Tonne auf die ganze Länge der Bahn unter Voraussetzung eines gleich grofsen Verkehrs in beiden Richtungen nach § 11 sind:

$$k = \left(f + \varepsilon s + \frac{B_0\,(w+s)}{L\,(z-w-s)}\right) l + \frac{a\,z\,p}{z-w-s}$$

so sind die Betriebskosten bei ungleichem Verkehr in beiden Richtungen:

(Gl. 15.) . . $$K = \frac{2\,b}{1+r}\,T\,k - \frac{1-r}{1+r}\,a\,T\,p_0.$$

Das zweite Glied dieser Gleichung stellt die Ersparung an Zugkraftskosten dar, welche in Folge der geringeren Zugbelastung in der Nebenrichtung, verglichen mit der Zugbelastung der Hauptrichtung, eintreten. So lange der Verkehr in der Hauptrichtung nicht sehr erheblich überwiegt, etwa nicht mehr als doppelt so grofs als in der anderen Richtung ist, beträgt dieses Glied kaum 2 Proz. des ersten Gliedes, so dafs dasselbe meistens vernachlässigt werden kann und die Betriebskosten für einen in beiden Richtungen ungleichen Verkehr durch die einfache Gleichung:

(Gl. 16.) . . . . . $$K = \frac{2\,b}{1+r}\,T\,k$$

dargestellt werden können. Durch den Werth $b\,T\,k$ würden die Betriebskosten in der Nebenrichtung so hoch berechnet, als ob die Züge die gleiche Nutzlast wie in der Hauptrichtung hätten. Da die Nutzlast aber im Verhältnifs von $1 + r$ zu 2 kleiner ist, als dieser Annahme entspricht, so erklärt sich die Multiplikation der für einen in beiden Richtungen gleichen Verkehr geltenden Kosten $b\,T\,k$ mit dem Faktor $\frac{2}{1+r}$.

Ist der Unterschied der Verkehrsmenge nicht sehr erheblich, so kann man also die Berechnung der Betriebskosten unter der Annahme eines für beide Richtungen gleich grofsen Verkehrs durchführen und die Abweichung von der gleichen Vertheilung des Verkehrs durch eine passende Bestimmung des Ladungskoeffizienten berücksichtigen, welcher zu

$$b_1 = \frac{2b}{1+r}$$

anzunehmen ist, wenn b der Ladungskoeffizient in der Hauptrichtung des Verkehrs und r das Verhältnifs des Nutzlastenverkehrs in der Nebenrichtung zu dem in der Hauptrichtung bezeichnet.

Liegt aber die mafsgebende Steigung in der Richtung des Nebenverkehrs, so findet man die Betriebskosten durch Benutzung der durch Gleichung 14 gegebenen Anzahl der Züge zu:

$$K = \frac{2\,(b+r-1)}{1+r}\,Tk - \frac{(b+r-1)\,(1-r)}{b\,(1+r)}\,aTp_0$$

und unter Vernachlässigung des meistens sehr kleinen zweiten Gliedes zu:

(Gl. 17.) . . . . $K = \frac{2\,(b+r-1)}{1+r}\,Tk.$

Abschnitt II.

Untersuchungen über die zweckmäfsigste Anordnung der Einzelheiten der Trafse.

§ 15.

Einleitung.

Im Gegensatz zu der kommerziellen Trafse, welche in horizontaler Ebene liegend gedacht wurde und auf welcher daher die Betriebskosten für die Gewichts- und Längen-Einheit überall als gleich grofs angenommen werden konnten, bildet die technische Trafse einen geradlinig gebrochenen Linienzug im Raume, dessen Knickpunkte durch Kurven ausgerundet sind, wobei die Betriebskosten für die Gewichts- und Längen-Einheit von der Neigung und Krümmung der Trafse nach der im ersten Abschnitt entwickelten Gesetzmäfsigkeit abhängig sind. Unter steter Festhaltung der allgemeinen Aufgabe des Trafsirens, nach welcher die aus den Zinsen des Anlagekapitals, den Bahn-Unterhaltungs- und den Betriebskosten bestehenden Gesammtverkehrskosten auf das geringste Mafs gebracht werden sollen, lafsen sich aus der Abhängigkeit dieser Kosten von der Neigung und Krümmung für die Gestaltung der Trafse in Grundrifs- und Höhenlage bestimmte Vorschriften und Regeln ableiten und Verfahrungsweisen angeben, welche zur Beurtheilung der Zweckmäfsigkeit der Trafse dienen. Zum Theil sind hierfür Vorschriften

maſsgebend, wie sie auf Grund vielseitiger und langjähriger Erfahrungen durch die Vereinbarungen des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen festgelegt sind, zum Theil bedarf es aber noch besonderer Untersuchungen zur Herleitung der aufzustellenden Regeln, Gesetze und Verfahrungsweisen.

Die Bestimmungen für die Gestaltung der Traſse sind aber nicht allein auf die Krümmungs- und Neigungsverhältnisse zu beschränken, sondern auch auf die Breiten-Abmessungen der Bahn und auf die Bahnhofsanlagen zu beziehen, da diese hierbei in mannigfacher Weise in Betracht kommen. Man kann hiernach bei den Bestimmungen für die Gestaltung der Traſse die folgenden vier Gruppen unterscheiden:

1. Bestimmungen über die Breite und Breiten-Eintheilung der Bahn, namentlich über die Spurweite, die Gleiszahl, den Abstand der Gleismitten, die Kronenbreiten, die Böschungsneigungen, die Breite der Seitengräben, Stellwannen, Schutzstreifen und Parallelwege.

2. Bestimmungen über die Krümmungsverhältniſse, namentlich über die kleinsten zuläſsigen Krümmungshalbmesser und über den Normalkrümmungshalbmesser, welcher noch ohne Ermäſsigung der Steigung durchgeführt werden kann, ferner über Spurerweiterung und Schienen-Ueberhöhung in den Kurven, über Form und Länge der Uebergangskurven und über die Länge der Zwischengeraden bei Gegen-Kurven.

3. Bestimmungen über die Steigungsverhältniſse, namentlich für die zweckmäſsigste Wahl der maſsgebenden Steigung, sei es mit oder ohne Längen-Entwicklung der Traſse oder auch unter Zerlegung der ganzen Linie in gesonderte Betriebsstrecken; ferner über die Zuläſsigkeit und die mögliche Länge von Anlaufsteigungen, über die Verringerung der Steigung in Krümmungen und in Tunneln; über Ausrundung der Gefällwechsel und über Vermeidung verlorener Steigungen.

4. Bestimmungen über die Anlage der Bahnhöfe, namentlich über die Länge sowie über die zulässigen Steigungs- und Krümmungsverhältnisse derselben, ferner auch zur Ermittlung der zweckmäfsigsten Stationsentfernung.

Die in Bezug auf die vorstehend aufgeführten Verhältnisse der Trafse bestehenden Vorschriften und Erfahrungsergebnisse sowie die zur Beurtheilung derselben erforderlichen Rechnungen und Untersuchungen sind im Folgenden zusammengestellt.

§ 16.

Breite und Breiten-Eintheilung der Bahn.

Das Grundmafs für die Breite und Breiteneintheilung der Bahn bildet die Spurweite. Da bei der Ausdehnung, welche das Eisenbahnnetz in den meisten Kulturländern erreicht hat, an eine Aenderung der einmal bestehenden Spurweite nicht zu denken ist, so hat eine Untersuchung über die zweckmäfsigste Weite der Spur keinen praktischen Nutzen. Eine solche Untersuchung bietet ohnedies ganz aufserordentliche Schwierigkeiten. Schon der Umstand, dafs für alle einzelnen Bahnlinien, je nach der Höhe ihrer Baukosten und je nach der Art und Gröfse ihres Verkehrs, die zweckmäfsigste Spurweite sich verschieden ergeben mufs, dafs aber die Forderung eines einheitlichen Spurmafses die Feststellung eines, unter allen gefundenen Spurweiten in günstigster Weise vermittelnden Mafses erheischt, läfst die Lösung der Frage in voller Schärfe als undurchführbar erkennen.

Am leichtesten ist es, für einen gegebenen Fall die Abhängigkeit der Baukosten von dem Mafse der Spurweite festzustellen, obwohl selbst hierüber in den Aufsätzen und Schriften, welche die Frage behandeln, Meinungsverschiedenheiten über einzelne Punkte hervortreten. Weit schwieriger ist es aber, den Einfluss der Spurweite auf die Gröfse der

Anschaffungs- und Unterhaltungskosten der Lokomotiven und Wagen festzustellen, welche auf die Einheit der Arbeitsleistung der Lokomotive und auf die Einheit des Ladungsgewichtes der Wagen bezogen werden müssen. Offenbar werden diese Kosten für eine bestimmte Spurweite und zwar für die Lokomotive und für die verschiedenen Wagengattungen nicht für die gleiche, am kleinsten und wachsen, wenn die Spurweite gröfser oder kleiner wird. Ueber diese schwierige, nur auf Grund längerer und sorgtältig angestellter Beobachtungen zu entscheidende Frage ist bis jetzt wenig Klarheit erreicht und wohl nur erkannt worden, dafs die frühere grofse Spurweite der Great-Western-Bahn in England von 2,2 m etwas zu grofs bemessen war.

Noch schwieriger und unlösbarer wird die Frage, wenn man auch die übrigen Betriebskosten, den Einfluſs auf die Geschwindigkeit und die Sicherheit sowie auf die Bequemlichkeit des Reisens mit in Betracht zu ziehen versucht. Offenbar wird mit zunehmender Spurweite der Gang der Fuhrwerke ruhiger; denn der Winkel, welcher durch die vom Schwerpunkte des Wagens nach den Schienenkanten gezogenen Linien gebildet wird und dessen Gröfse man für die Beurtheilung des ruhigen Ganges der Wagen zu Grunde zu legen pflegt, wird mit zunehmender Spurweite stumpfer. Auch die unvermeidlichen Höhenunterschiede beider Schienen, welche für alle Spurweiten das gleiche Mafs behalten, verursachen bei kleineren Spurweiten stärkere Schwankungen der Fahrzeuge, als bei gröfseren.

Glücklicherweise sind die Vortheile und Nachtheile einer Vergröfserung oder Verkleinerung der Spurweite in solcher Weise verkettet, dafs man von dem in voller Schärfe günstigsten einheitlichen Spurmafse ziemlich weit nach oben oder unten abweichen kann, ohne dafs die Gesammtkosten des

Eisenbahnverkehrs dadurch in einem in Betracht kommenden Maſse erhöht würden. Es ist auch wohl unzweifelhaft, daſs das verbreitetste Spurmaſs, die sogenannte normale Spur von 1435 mm, der günstigsten einheitlichen Spurweite mindestens sehr nahe kommt. Es ist aber, wie bereits erwähnt, diese Frage von keiner praktischen Bedeutung.

Eine andere Frage ist es, ob nicht für bestimmte gegebene Fälle eine Abweichung von der einheitlichen Spur, sei es die Annahme einer gröſseren oder kleineren Spurweite, sich empfiehlt. Die in dieser Beziehung entscheidenden Erwägungen werden in § 18 erörtert werden.

Für die Breite der Hauptbahnen enthalten die Technischen Vereinbarungen des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen vom Jahre 1882 die folgenden Bestimmungen.

„§ 4. Die normale Spurweite ist 1,435 m im Lichten der Schienen.

§ 7. Die Gleise der freien Bahn dürfen von Mitte zu Mitte nicht weniger als 3,5 m von einander entfernt sein. Treten den vorhandenen Doppelgleisen noch weitere Gleise hinzu, so ist deren Entfernung von den bestehenden, sowie unter sich, nicht unter 4 m anzunehmen. Bei Erbauung neuer Bahnen wird eine Entfernung von Mitte zu Mitte der Gleise von mindestens 4 m empfohlen.

§ 8. Die Kronenbreite des Bahnkörpers ist so zu bemessen, daſs die Entfernung des Schnittes einer durch die Unterkante der Schienen gelegten Linie mit der Böschungslinie von der Mitte des nächsten Gleises nicht unter 2 m beträgt.“

Der Verein Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen unterscheidet aufser den Hauptbahnen noch Nebenbahnen und Lokalbahnen. Die Nebenbahnen stimmen in ihrem Oberbau im wesentlichen mit den Hauptbahnen überein, so daſs

sowohl Lokomotiven wie Wagen der Hauptbahnen auf sie übergehen können, doch darf die Fahrgeschwindigkeit von 40 Km in der Stunde in keinem Punkte der Bahn überschritten werden. Die Lokalbahnen, normal- oder schmalspurig, dienen dem öffentlichen Verkehr, jedoch vorwiegend dem Lokalverkehre und werden mittelst Dampfkraft durch Adhäsionsmaschinen betrieben. Der gröfste Raddruck soll in der Regel nicht mehr als 5000 kg betragen und die Fahrgeschwindigkeit von 30 Km in der Stunde darf nirgends auf ihnen überschritten werden.

Die im Jahre 1886 aufgestellten Grundzüge für den Bau und Betrieb der Neben-Eisenbahnen enthalten über Spurweite und Gleis-Abstand in §§ 4 und 7 die gleichen Bestimmungen wie für Hauptbahnen. In § 8 wird aber der Abstand der Kronkante von der Mitte des nächstbelegenen Gleises auf 1,75 m ermäfsigt, wobei aber in scharfen Krümmungen und auf hohen Dämmen eine Verbreiterung empfohlen wird.

Durch die Grundzüge für den Bau und Betrieb der Lokalbahnen, welche gleichfalls im Jahre 1886 aufgestellt wurden, wird die Normal-Spurweite, wie für die Haupt- und Nebenbahnen, auf 1,435 m festgestellt und empfohlen, die schmale Spur auf die beiden lichten Weiten von 1000 mm und 750 mm zu beschränken.

Normalspurige Gleise dürfen auf freier Bahn nicht weniger als 3,5 m Abstand von Mitte zu Mitte haben, wenn Wagen der Haupt- oder Nebenbahnen auf sie übergehen. Wo dies nicht der Fall ist, somit auch bei Schmalspurbahnen, wird empfohlen, diese Entfernung um 500 mm gröfser als die festgesetzte gröfste Wagen- bezw. Ladungsbreite zu nehmen.

Die Kronenbreite des Bahnkörpers ist so zu bemessen, dafs die Entfernung des Schnittpunktes einer durch die Unterkante

der Schienen gelegten geraden Linie mit der Böschungsebene von der Mitte des nächsten Gleises bei normaler Spurweite nicht weniger als 1500 mm, bei Schmalspur nicht weniger als das Maſs der Spurweite beträgt. In scharfen Krümmungen und auf hohen Dämmen wird eine Verbreiterung empfohlen.

Für die Traſsirung ist die Breite des Erdkörpers in Höhe der Bettungssohle maſsgebend, welche man im Gegensatze zur Kronenbreite als die Arbeitsbreite der Bahn bezeichnet. Man muſs deſshalb schon bei der Traſsirung eine Bestimmung über die Stärke der Bettung treffen, welche von Bettungssohle bis Schienenunterkante gemessen und für Dämme, unter Berücksichtigung der besser gesicherten Abwässerung, geringer als für Einschnitte, und für Einschnitte in erdigem Boden geringer als für solche in Felsboden angenommen wird.

Bei Feststellung der Bettungsstärke ist die Bestimmung des § 10 der Technischen Vereinbarungen zu beachten, nach welcher die Bettung mindestens um 200 m unter die Unterkante der Schwellen hinabreichen soll. Die Bettungsstärke wird deſshalb für Dämme in der Regel zu 0,35 bis 0,4 m, für Einschnitte zu 0,4 bis 0,5 m angenommen.

Die Bettung wird auf dem Erdkörper meistens mit einer Böschung von 1 : 1 bis 1 : $1^1/_2$ aufgebracht und der Art daſs von dem Fuſspunkte der Bettungsböschung bis zur Kante der Böschung des Erdkörpers eine horizontale Berme von 0,2 bis 0,3 m entsteht. Danach ist die Kronenbreite der Bettung etwas kleiner als das Maſs, welches für den Abstand der Schnittpunkte einer durch die Unterkante der Schienen gelegten geraden Linie mit den Böschungsebenen vorgeschrieben ist. Die Arbeitsbreite der Dämme ist bei $1^1/_2$fachen Böschungen und 0,35 m Bettungsstärke um $2 \cdot 1^1/_2 \cdot 0{,}35 = 1{,}05$ m gröſser als das letztgenannte Maſs. Für die Einschnitte ist der Arbeitsbreite noch die Grabenbreite in der Höhe der

Bettungssohle hinzuzufügen. Nimmt man als geringste Sohlenbreite der Einschnittsgräben 0,3 m und als geringste Tiefe dieser Einschnittsgräben unter Bettungssohle 0,3 m an, so ist die erwähnte Breite eines Einschnittsgrabens in Höhe der Bettungssohle bei Graben-Böschungen mit $1^1/_2$facher Anlage = 1,2 m. Danach ist die Arbeitsbreite der Einschnitte bei 0,4 m Bettungsstärke um 2 ($1^1/_2 \cdot 0{,}4 + 1{,}2$) = 3,6 m breiter als die Kronenbreite der Bahn in Höhe der Schienenunterkante zwischen den Schnittpunkten mit den Böschungsebenen.

Mit der angegebenen knappen Grabentiefe und geringer Breite der Grabensohle ist aber nur in Einschnitten mit geringer Wasserführung auszukommen. Häufig werden die Einschnittsgräben nicht unerheblich breiter und tiefer hergestellt, so dafs dementsprechend eine gröfsere Arbeitsbreite der Einschnittssohle entsteht.

In felsigen Einschnitten mit lothrechten Böschungswänden kann aber unter Umständen die Arbeitsbreite noch etwas geringer ausfallen als für Einschnitte in erdigem Boden mit knappesten Abmessungen der Gräben.

Die für den Bahnbau erforderliche Bodenbreite wächst über das Mafs der Arbeitsbreite hinaus nicht allein durch die Ausladung der Damm- oder Einschnittsböschungen, sondern auch noch durch die Stellwannen, welche aufserhalb des äufseren Böschungsrandes noch in Breite von 0,5 bis 1 m angenommen werden, ferner durch Schutzstreifen in Haide- und Waldboden, durch Parallelwege, durch Schneewälle und Schutzmauern gegen Steinstürze, durch Gräben am bergseitigen Rande der Einschnitte und durch Einfriedigungsgräben, endlich durch Seiten-Ablagerungen und Seiten-Entnahmen.

Die ausgeführten Bahnen zeigen hiernach in der durchschnittlichen Gesammtbreite der erforderlichen Grundfläche,

aber auch in der Abmessung der Kronen- und Arbeitsbreite erhebliche Verschiedenheiten. Als Beispiel möge die Gotthardbahn angeführt werden. Nach Hellwag*) und Dolezalek**) beträgt die Kronenbreite der Bettung bei eingleisiger Bahn in Höhe der Schienen-Unterkanten 3,6 m und bei 3,5 m Abstand der Gleise von Mitte zu Mitte für die zweigleisige Bahnstrecke 7,1 m. Der Abstand der Schnittpunkte einer durch die Unterkante der Schienen gelegten geraden Linie mit den Böschungsebenen beträgt 4,2 m bei eingleisiger und 7,7 m bei zweigleisiger Bahn.

Die Stärke der Bettung beträgt auf Dämmen 0,35 m, in erdigen Einschnitten 0,4 m und in felsigen Einschnitten 0,5 m. Die Arbeitsbreite des Erdkörpers ist für Dämme mit einem Gleise 5,2 m, bei zwei Gleisen 8,7 m und für Einschnitte mit einem Gleise 7,9 m, für zweigleisige Einschnitte 11,4 m, wobei die Einschnittsgräben bei 0,35 m Sohlenbreite, 0,3 m Tiefe unter Bettungssohle und in Höhe der letzteren bei $1^1/_2$fachen Böschungen 1,25 m Breite haben. Für tiefe Einschnitte werden die Einschnittsgräben vertieft und erbreitert und die Arbeitsbreite derselben auf 9 m und bezw. 12,5 m vergrößert.

Die Böschungsneigung ist für Dämme in der Regel $1^1/_4$-fach, für Einschnitte $1 : 1^1/_2$; in festem Gestein aber lothrecht. In beschränkter Oertlichkeit sind Steinsätze aus geschichteten Bruchsteinen mit Böschungsneigungen 1 : 1 bis 20 m Höhe ausgeführt, welche aber mindestens 1 m hoch mit Erdboden bedeckt sind. Stützmauern aus Trockenmauerwerk, welche $^2/_3$ Anlauf haben, wurden bis 10 m Höhe ausgeführt; Stützmauern aus Mörtelmauerwerk haben meistens keinen Anlauf.

---

*) Hellwag, Die Bahnachse und das Längenprofil der Gotthardbahn. Zürich 1876.

**) Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins 1882. S. 479.

Die Stellwannen haben 0,5 bis 1,0 m Breite, Schutzstreifen in Haidegrund 8—10 m, in Laubholzbeständen 15 bis 20 m, in Nadelholz 20 bis 25 m Breite, vom nächsten Gleise gemessen.

§ 17.

Eingleisige und zweigleisige Bahn.

Ist anzunehmen, dafs zur Bewältigung des Verkehrs dauernd ein Gleis genügt, so wird selbstverständlich die Trafse auch nur für eine eingleisige Bahn bearbeitet, mit Ausnahme der Bahnhöfe, welche unter allen Umständen zwei Hauptgleise erhalten.

Ist aber, wenn auch nur erst nach längerer Zeit, die Herstellung eines zweiten Gleises als erforderlich anzunehmen, so ist es zweckmäfsig, die Trafse schon bei der ersten Anlage für eine zweigleisige Bahn zu bestimmen und je nach Schätzung der Zeit, in welcher das zweite Gleis herzustellen sein wird, Vorkehrungen für die Anlage desselben zu treffen.

Selbst wenn das zweite Gleis voraussichtlich erst nach Verlauf von 30 bis 40 Jahren erforderlich werden sollte, wird es gerechtfertigt erscheinen, den Grunderwerb für dasselbe schon bei der ersten Anlage zu beschaffen. Der Grunderwerb für das zweite Gleis beschränkt sich auf einen Streifen von 4 m Breite für die Länge der freien Strecke, welche zu 0,9 der Gesammtlänge der Bahn zu rechnen ist, so dafs durchschnittlich 36 Are auf 1 Km Bahnlänge dafür erforderlich werden, deren Ankaufspreis auf 2000 bis 3000 Mk. zu schätzen ist. Nach Verlauf von 40 Jahren würden bei Rechnung von 4 Proz. diese Summen mit Zinsen und Zinseszinsen auf 9600 bis 14400 Mk. angewachsen sein. Rechnet man aber, dafs die Grundfläche auch nur zu 1 Proz. ihres Ankaufspreises sich verpachten läfst, so bleiben nur 3 Proz. Verlust, wodurch nach

Ablauf von 40 Jahren die Kosten für 1 Km auf 6500 bis 9750 Mk. angewachsen sein würden. Es ist aber wahrscheinlich, dafs man nach Ablauf von 40 Jahren für den betreffenden Grunderwerb, in Folge der in unmittelbarer Nähe der Bahn leicht eintretenden Besetzung mit Gebäuden oder eines aus anderen Ursachen gesteigerten Nutzungswerthes eine gröfsere Summe würde zahlen müssen.

Begreiflicherweise stützt sich die Begründung der Nützlichkeit einer solchen Mafsregel immerhin auf Schätzungen, welche keinen hohen Grad von Sicherheit haben.

Eine weitere Mafsregel zur Vorbereitung der späteren Anlage eines zweiten Gleises besteht in der Einrichtung der Kunstbauten der Strecke. Lange Tunnel wird man schon mit Rücksicht auf genügende Lüftung und weitgespannte Brücken mit eisernem Ueberbau aus Rücksicht auf den Winddruck meistens zweigleisig herstellen.

Für kürzere Tunnel stellt sich die Rechnung, wenn voraussichtlich nach n Jahren das zweite Gleis nöthig wird, bei Anrechnung eines Zinsfufses i, folgendermafsen. Kostet die Längeneinheit des Tunnels bei der ersten Anlage für eingleisige Bahn A_1, für zweigleisige Bahn A_{II}, dagegen die spätere Erweiterung des eingleisigen Tunnels für zwei Gleise oder bezw. die Anlage eines zweiten eingleisigen Tunnels neben dem ersten A, so empfiehlt sich die sofortige Herstellung eines zweigleisigen Tunnels, wenn $(A_{II} - A_I)(1 + i)^n$ kleiner ist als A.

Für gewölbte Brücken und eiserne Brücken mit unterhalb der Fahrbahn liegenden Trägern wird bei Beschränkung auf die Fertigstellung eines Gleises in der Regel zweckmäfsig der Grundbau für die zweigleisige Anlage durchgeführt, die Brücke aber nur an einer Stirnseite mit den endgültig hergestellten Flügeln versehen, während an der andern Seite ein

später wieder fort zu nehmendes Stirnmauerwerk aufgeführt wird und die Widerlagsmauern für die zweite Brückenhälfte in abgetreppter Form und in solcher Weise aufgemauert werden, dafs sie als in der Verlängerung der Widerlagsmauern der ersten Brückenhälfte liegende, schräg abfallende Flügel dienen, an welche die Böschung des eingleisigen Bahnkörpers sich anschliefst. Die Entscheidung über die Zweckmäfsigkeit einer solchen Anordnung ist auf Grund der vorstehend für die Tunnel-Anlagen gegebenen Formel zu finden.

Für eiserne Brücken mit zwischen den Hauptträgern liegender Fahrbahn ist zu beachten, dafs der Pfeiler-Unterbau für zwei eingleisige Ueberbau-Konstruktionen in der Richtung des Stromlaufs um etwa 1,5 m länger wird als für einen einzigen zweigleisigen Ueberbau. Sind P die Mehrkosten, welche die längeren Pfeiler für zwei eingleisige Ueberbaue im Vergleich zu den Pfeilern einer zweigleisigen Brücke erfordern, ferner A_{I} die Kosten eines eingleisigen, A_{II} die Kosten eines zweigleisigen Ueberbaus, so spart man bei Beschränkung der ersten Anlage auf ein Gleis im Vergleich zu einer Anlage mit zweigleisigem Ueberbau $A_{\text{II}} - A_{\text{I}} - P$. Diese Ersparung mufs in der Zeit von n Jahren, nach welcher die Herstellung des zweiten Gleises erforderlich wird, mit Zinsen und Zinseszinsen mehr als die nach n Jahren aufzuwendenden Kosten betragen, wenn die Anordnung sich rechtfertigen soll, so dafs man dafür die Bedingung erhält:

$$(A_{\text{II}} - A_{\text{I}} - P)\,(1 + i)^n > A_{\text{I}}\,.$$

Kostete beispielsweise für eine Brücke von 3 Oeffnungen von je 30 m Weite ein eingleisiger eiserner Ueberbau $A_{\text{I}} =$ 36000 Mk., ein zweigleisigerUeberbau $A_{\text{II}} =$ 71000 Mk., kostete ferner der Ueberbau zur Aufnahme zweier eingleisigen Brücken $P =$ 8000 Mk. mehr als für eine zweigleisige Brücke, so würde es vortheilhaft sein, sofort die zweigleisige Brücke

herzustellen, wenn das zweite Gleis in weniger als 7,4 Jahren erforderlich sein würde, da: $(71\,000 - 36\,000 - 8000)$ $(1{,}04)^{7{,}4} > 36\,000$ ist.

Die Erbreiterung des ursprünglich für ein Gleis hergestellten Erdkörpers für das zweite Gleis läfst sich nicht für die bei der ersten Anlage durch Beschränkung auf ein Gleis gemachte Ersparung $A_{II} - A_{I}$ ausführen. Zunächst sind die Bahnen und Gleise für die Bodenverfahrung, welche man ohne wesentliche Mehrkosten auch für die Erbreiterung des Erdkörpers hätte benutzen können, von Neuem herzurichten, sodann ist die Böschungsbekleidung des eingleisigen Bahnkörpers an einer Seite abzutragen und nach der Verbreiterung für das zweite Gleis wieder anzubringen, ferner müssen Vorsichtsmafsregeln getroffen werden, um ein Abrutschen der seitlich angeschütteten Erdmassen zu verhüten. Besondere Schwierigkeiten treten bei Querschnitten im Anschnitt hervor, weil hier bei bergseitiger Abgrabung und thalseitiger Anschüttung die Bekleidung beider Böschungen zunächst beseitigt und später wieder angebracht, sowie eine Seitenverschiebung des Gleises vorgenommen werden mufs. Es empfiehlt sich defshalb, sowohl bei der ersten Anlage der eingleisigen Bahn wie auch bei der späteren Verbreiterung für das zweite Gleis die Quer-Ausgleichung von Ab- und Auftrag durch eine Längen-Ausgleichung zu ersetzen, indem man von der für zwei Gleise entworfenen Anlage auf bestimmte Längenerstreckung wechselnd das linke und das rechte Gleis bei der ersten Anlage herstellt und bei der späteren Ergänzung des zweiten Gleises entsprechend streckenweise die Erbreiterung bald bergseitig und bald thalseitig vornimmt. Da die Längenbewegung des Bodens kostspieliger als die Querbewegung defselben ist und da in den Uebergangsstrecken vom linken zum rechten Gleise dennoch eine Gleisverschiebung und die Umlegung einer

Böschungsbekleidung und bezw. zweier Böschungsbekleidungen in den Uebergangsstrecken nicht vermieden wird, so entsteht auch bei einer solchen nachträglichen Erbreiterung immer noch eine wesentliche Vertheuerung. Es bedarf diese Art der Ausführung, bei welcher man den Uebergang vom Ausbau des rechten und linken Gleises möglichst in die Zwischengeraden von Gegenkrümmungen zu legen sucht, begreiflicherweise einer umständlichen Ueberlegung. Unter allen Umständen erfordert die spätere Erbreiterung des Erdkörpers für das zweite Gleis einen Mehrkosten-Aufwand $A = m\,(A_{II} - A_{I})$, welcher nur gerechtfertigt erscheint, wenn die bei der ersten Beschränkung auf ein Gleis gemachte Ersparung $A_{I} - A_{.}$ mit Zinsen und Zinseszinsen innerhalb der Zeit von n Jahren, für welche ein Gleis genügt, gröfser ist, so dafs man den Erdkörper sofort zweigleisig herstellen mufs, wenn

$$(1 + i)^n < m$$

ist. Wäre beispielsweise $m = 1{,}5$, wie im Durchschnitt angenommen werden kann, so müfste bei Anrechnnng eines Zinsfufses $i = 0{,}04$ der Erdkörper sofort zweigleisig in der ersten Anlage hergestellt werden, wenn das zweite Gleis früher als nach $n = 10$ Jahren erforderlich wäre.

Es giebt nach den vorstehenden Erörterungen in den Vorkehrungen für die Anlage des zweiten Gleises je nach der Zeitdauer, für welche ein Gleis genügt, verschiedene Abstufungen, welche zwischen der alleinigen Erwerbung der demnächst erforderlichen Grundfläche und der vollständigen Herstellung des Bahn-Unterbaues liegen, mit verschiedenartiger Ausführungsweise der Kunstbauten der Strecke.

§ 18.

Normalspur oder Schmalspur.

Nach den Vereinbarungen des Vereins deutscher Eisen-

bahn-Verwaltungen sind die Hauptbahnen und die Nebenbahnen unter allen Umständen normalspurig auszuführen und nur für die dritte Stufe der Bahnen, die Lokalbahnen, welche zwar einem öffentlichen, aber doch vorwiegend nur dem Lokalverkehre dienen, ist eine Wahl zwischen der Normalspur und Spurweiten von 1000 mm oder 750 mm zulässig.

Bei der Vergleichung der Normal- und der Schmalspur muſs festgehalten werden, daſs die Anzahl der Züge und die mit dem einzelnen Zuge zu befördernde Nutzlast, vor Allem aber die Fahrgeschwindigkeit und die dieser entsprechende Konstruktion der Betriebsmittel für alle Fälle die gleiche ist*).

Als Vortheile der Schmalspur sind anzuführen:

1) Die Ersparung von Anlagekosten in Folge der geringeren Breiten-Abmessungen der Bahn.

2) Die Ersparung an Anlagekosten, welche in Folge der Anwendbarkeit schärferer Kurven durch ein genaueres Anschmiegen der Trafse an die Bodengestaltung entsteht.

3) Die durch die Zulässigkeit schärferer Kurven gewonnene Möglichkeit, die Trafse den Anforderungen des Verkehrs besser anzupassen, sie in das Innere von Ortschaften oder gewerblichen Anlagen näher zu führen.

Dem gegenüber stehen als Vortheile der Normalspur:

1) Die Vermeidung des Umladens der Güter beim Uebergange von und auf Haupt- oder Nebenbahnen.

2) Die gröfsere Brauchbarkeit für Kriegszwecke und für einzelne besondere Versendungen.

---

*) Dies ist in dem seit Jahren über Normal- oder Schmalspur in der technischen Litteratur geführten Streite nicht immer geschehen, überhaupt ist die Entscheidung über diese bis zum Ueberdrufs erörterte Streitfrage vielfach durch geschäftliche und andere persönliche Rücksichten verwirrt und verdunkelt worden.

3) Die Möglichkeit, ältere Betriebsmittel, wie Wagen, Drehscheiben u. s. w., welche auf Bahnen mit grofser Fahrgeschwindigkeit ausgeschieden werden mufsten, zu verwenden.

4) Die Möglichkeit, mit geringerem Kosten-Aufwande bei einer Zunahme des Verkehrs in eine Bahn höherer Bedeutung umgewandelt werden zu können.

Der aufserdem für die Normalspur noch oft beanspruchte Vorzug billigerer Betriebskosten ist aus den später aufgeführten Gründen hier nicht mit aufgenommen.

Zwischen den erwähnten Vorzügen der Schmalspur oder der Normalspur läfst sich begreiflicher Weise nicht allgemein, sondern nur für den einzelnen gegebenen Fall eine Entscheidung treffen. Für die dabei vorzunehmenden Rechnungen und Erwägungen mögen noch die folgenden Erörterungen dienen.

Die Verschmälerung der Spur führt zu Ersparungen in den Kosten für den Grunderwerb, für die Erdarbeiten, für die Kunstbauten der Strecke, für die Gleisbettung und für die Querschwellen. Die Schienen können bei schmaler Spur nicht schwächer als bei normaler Spur genommen werden, weil bei gleicher Fahrgeschwindigkeit und bei gleichem Zug-Gewichte auch das Lokomotiv-Gewicht das gleiche bleiben mufs, wenn auch die Raddrücke der Wagen bei schmaler Spur etwas kleiner als auf der Normalspur sind. Streng genommen müfsten sogar für die Schmalspur die Schienen verstärkt werden, weil die aus ungleicher Höhenlage der Schienen entstehenden Schwankungen der Fahrzeuge auf der Schmalspur stärker sind.

Wenngleich durch die Vereinbarungen deutscher Eisenbahn-Verwaltung als geringste zulässige Kronenbreite der Schmalspurbahnen das doppelte Mafs der Spurweite festgestellt ist, so darf man doch bei Vergleichung verschiedener Spur-

weiten diese Bestimmung nicht zu Grunde legen, da gleiche Sicherheit des Betriebes nur dann vorhanden ist, wenn bei den verschiedenen Spurweiten der Abstand der Schwellenenden, der Bettungskanten und der Kronkanten des Erdkörpers von der äufseren Schienenkante der gleiche ist. Unter Festhaltung dieser Bedingung wird die Breite des Grunderwerbs, des Erdkörpers, der Kunstbauten der Strecke und der Bettung, sowie die Länge der Querschwellen nur um das Mafs der Spurverschmälerung geringer, also im Vergleich zur Normalspur bei der Spurweite von 1 m um rund 0,45 m und bei der Spurweite von 0,75 m um rund 0,7 m.

Die Ersparung an Anlagekosten für eine Bahn von 1 m Spurweite gegen eine normalspurige Bahn kann man hiernach für den Km in folgeuder Weise berechnen:

a)	Ersparung an Grunderwerb: Ein Streifen von 0,45 m Breite, also 4½ Are zu 60 Mk. . . .	270 Mk.
b)	Ersparung an Erdarbeiten, unter Annahme einer durchschnittlichen Abweichung der Höhenlage der Bettungssohle von der Bodenoberfläche von 1 m = 450 Kbm zu 1 Mk.	450 „
c)	Ersparung an Bettungskies bei 0,3 m Stärke der Bettung = 0,3 · 0,45 · 1000 = 135 Kbm zu 3 Mk.	405 „
d)	Ersparung an Querschwellen: 1111 · 0,45 = 500 lfd. Meter zu 1,2 Mk.	600 „
e)	Ersparung am Grunderwerb, Erdbau und an den Gleisanlagen der Bahnhöfe, durchschnittlich für den Km der Bahnlänge ein Zuschlag von 10 Proz. der unter a bis d berechneten Kosten mit	173 „
f)	Ersparung an den Kunstbauten der Strecke etwa	302 „
	Summa . .	2200 Mk.

Für eine Bahn von 0,75 m Spurweite entsteht eine im Verhältnifs von 0,6 zu 0,45 gröfsere Ersparung, also rund 3800 Mk.

Eine weitere Ersparung, deren Betrag aber nur nach vollständiger Bearbeitung von Entwürfen für gegebene Bodengestaltung ermittelt werden kann, entsteht durch die bei der schmalen Spur mögliche Anordnung kleinerer Krümmungshalbmesser.

Nach den werthvollen theoretischen Untersuchungen Boedecker's*) bleibt der Kurven-Widerstand unverändert, wenn in gleichem Verhältnifse mit der Spurweite auch der Radstand, der Raddurchmesser, der Spielraum im Gleise und der Krümmungshalbmesser der Kurve abnehmen. Allerdings nimmt man aus naheliegenden Gründen eine gleichmäfsige Verkleinerung des Raddurchmessers mit der Verschmälerung der Spurweite nicht vor, sondern geht von dem Raddurchmesser auf normaler Spur von 0,90 bis 0,97 gewöhnlich bei einer Spurweite von 1,0 m nicht unter 0,85 m und bei einer Spurweite von 0,75 m nicht unter 0,75 m Raddurchmesser herab. Nach Boedecker's Untersuchungen ist aber der Raddurchmesser innerhalb der erwähnten Grenzen überhaupt nur von unerheblichem Einflufse auf die Gröfse des Kurven-Widerstandes, so dafs man, wenn nur der Radstand gleichmäfsig mit der Spurweite verkleinert wird, annehmen kann, dafs eine Kurve von 50 m Halbmesser bei 0,75 m Spurweite oder von 70 m Halbmesser bei 1,0 m Spurweite keinen gröfseren Widerstand bietet als eine Kurve von 100 m Halbmesser in einer Bahn mit normaler Spurweite.

Man kann den Kurven-Widerstand, welcher nach § 7

*) Boedecker, die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887. Hahn'sche Buchhandlung.

für normalspurige Bahnen zu $c = \frac{1}{r}$ angenommen wurde, allgemein für ein Spurmafs m zu $c = \frac{0{,}7\ m}{r}$ festsetzen, also für ein Spurmafs $m = 1{,}0$ zu $c = \frac{0{,}7}{r}$ und für ein Spurmafs $m = 0{,}75$ zu $c = \frac{0{,}525}{r}$, wobei r stets den Krümmungshalbmesser der Kurve in Metern angiebt.

Scharfe Krümmungen der Lokalbahnen werden noch unbedenklicher bei der jetzt vielfach, z. B. bei den sächsischen Schmalspurbahnen, mit bestem Erfolge angewendeten Lenkachsen.

Es ist begreiflich, dafs die Anwendbarkeit kleinerer Krümmungshalbmesser bei schwieriger Bodengestaltung zu erheblicheren Ersparungen an Anlagekosten führen kann, als die, welche unmittelbar aus der Verkleinerung der Breiten-Abmessungen entstehen.

Bliebe die Trafse, also auch die Gröfse der Krümmungshalbmesser der Kurven, bei Verringerung der Spurweite unverändert, so würde immerhin durch die Verminderung des Kurven-Widerstandes eine Verringerung der Betriebskosten entstehen. Für eine Schmalspurbahn von 0,75 m Spurweite wird der Kurven-Widerstand um $\frac{0{,}7\ (1{,}435 - 0{,}750)}{r} = \frac{0{,}48}{r}$ kleiner als auf normaler Spur. Für eine Kurve von α Grad Centriwinkel und r Meter Halbmesser, deren Länge also $0{,}0000175\ \alpha r$ Kilometer beträgt, wird demnach für den Uebergang einer Tonne an Arbeit zur Ueberwindung des Kurven-Widerstandes gespart:

$$\frac{0{,}48}{r} \cdot 0{,}0000175\ \alpha r = 0{,}000008\ \alpha.$$

Da die Leistung einer Tonne Zugkraft auf einen Kilo-

meter Länge nach § 5 einen Kosten-Aufwand von 25 Pfennigen = 1/4 Mark erfordert, so entsteht für jede Tonne eine Ersparung von 0,000002 α Mark.

Würde beispielsweise die Summe der Centriwinkel der Kurven durchschnittlich für den Km Bahnlänge 50 Grad betragen, so würden in Folge des geringeren Kurven-Widerstandes auf der schmalen Spur für den Tonnen-Km 0,0001 Mark an Betriebskosten erspart, welche auf schädlichen Steigungen in einer, auf unschädlichen Steigungen aber in beiden Richtungen in Betracht kommen. Die Ersparung ist freilich nur geringfügig, da sie für den beispielsweise angenommenen Fall, wenn 200 000 Tonnen Gesammtlast über die Bahn rollen und die Hälfte der Kurven in unschädlicher Steigung liegt, jährlich nur 15 Mark beträgt.

Von kaum erheblicherem Einflusse auf die Verminderung der Betriebskosten ist das günstigere Verhältniss der Rohlast zur Nutzlast, welches im Vergleich zur Normalspur auf der Schmalspur erreichbar ist. Werden die Wagen für verschiedene Spurweiten nach gleichen Grundsätzen und für gleiche Fahrgeschwindigkeit konstruirt, so wird an dem auf die Einheit der Nutzladung bezogenen Wagengewichte an den Theilen des Unterwagens, den Achsen, Rädern, Achslagern und Federn durch Verschmälerung der Spurweite kaum etwas erspart werden, bei den Buffern und Kuppelungen sogar ein Mehrverbrauch eintreten, dagegen bei den Wagenkasten, wenn auch der Radstand im Verhältniss der Spurweite verkleinert wird, eine Gewichtsverminderung erreicht werden; für den ganzen Wagen würde sich darnach das Verhältniss der Rohlast zur Nutzlast durch Verschmälerung der Spurweite nur um ein Geringes günstiger gestalten. Das Verhältniss wird aber für die Schmalspur durch den Umstand günstiger, dass die normalspurigen Güterwagen mit Rücksicht auf den Ueber-

gang auf Hauptbahnen mit gröfserer Fahrgeschwindigkeit verhältnifsmäfsig stärker gebaut werden müssen, als die stets auf den Lokalbahnen bleibenden schmalspurigen Wagen. Nach genauen Angaben*) über die Wagen der Königlich Sächsischen Nebenbahnen beträgt das auf 100 kg Nutzladung kommende Wagengewicht für die bedeckten Güterwagen auf normaler Spur 61 bis 95 kg, auf der Schmalspur von 0,75 m dagegen nur 38 bis 46 kg, und für die offenen Güterwagen auf der Normalspur 47 bis 72 kg, auf der Schmalspur 37 bis 44 kg. Bei den Personenwagen, welche auch für die normalspurigen Nebenbahnen weit leichter, als für die Hauptbahnen gebaut sind, tritt eine Gewichtsverminderung auf der Schmalspur nicht ein; es beträgt auf den Sächsischen Nebenbahnen das auf einen Sitzplatz kommende Gewicht der Personenwagen bei normaler Spur 89 bis 174 kg, bei schmaler Spur 152 bis 172 kg.

Nach den angegebenen Wagengewichten wird man unter Zugrundelegung eines gleichen Ausnutzungsgrades der Ladefähigkeit annehmen können, dafs beim Güterverkehr auf einer Bahn von 0,75 m Spurweite auf die Tonne Nutzlast mindestens $^1/_3$ Tonne Wagengewicht weniger, als auf normaler Spur durchschnittlich fortzuschaffen ist. Wäre der Zugwiderstand auf der ganzen Strecke durchschnittlich 0,006 der Last, so würden also bei Beförderung einer Tonne Nutzlast auf einen Km Länge auf der schmalen Spur 0,002 Tonnen-Km Arbeit erspart, was einem Kostenbetrage von 0,0005 Mark entspricht. Beispielsweise würden also auf einer Bahn, deren Güterverkehr 50000 Tonnen Nutzlast beträgt auf einer Schmalspur von 0,75 m Weite 25 Mark für den Km im Vergleich zur Normalspur erspart werden.

*) Vom Geh. Finanzrath Köpcke und Finanzrath Strick in Dresden.

Den berechneten Ersparungen an Zugkraftskosten, welche in Folge des verminderten Kurvenwiderstandes und in Folge des günstigeren Verhältnifses der Rohlast zur Nutzlast auf der Schmalspur eintreten, steht aber eine Mehrausgabe an Fahrdienstkosten gegenüber.

Die auf 100 kg Nutzladung entfallenden Anschaffungskosten waren auf den Sächsischen Nebenbahnen bei den bedeckten Güterwagen auf normaler Spur 22 bis 49 Mark, auf schmaler Spur 21 bis 22 Mark, bei den offenen Güterwagen auf normaler Spur 16 bis 28 Mark, auf schmaler Spur 18 bis 19 Mark, und die auf einen Sitzplatz der Personenwagen kommenden Anschaffungskosten bei normaler Spur 58 bis 107 Mark, bei schmaler Spur 97 bis 122 Mark. Nach diesen Zahlen sind die Anschaffungskosten des Wagenparks bei schmaler Spur für den Güterverkehr etwas kleiner, dagegen für den Personenverkehr gröfser, so dafs im Allgemeinen ein bemerkenswerther Unterschied bei diesen Ausgabeposten für die Schmal- und Normalspur wohl nicht anzunehmen ist. Die Unterhaltungskosten der Wagen, über welche freilich vergleichende Angaben nicht vorliegen, müssen aber zweifellos für den Güterverkehr auf der Schmalspur gröfser als auf der Normalspur sein, da die Unterhaltungskosten der Wagen im Wesentlichen von der Anzahl der einzelnen Wagentheile, wie Achsen, Räder, Achslager, Federn, Buffer, Kuppelungen u. s. w. abhängig sind, von denen für Fortschaffung der gleichen Nutzladung auf der Schmalspur mehr erforderlich sind als auf normaler Spur.

Da die Unterhaltungs- und Erneuerungskosten der Güterwagen für Hauptbahnen nach § 5 für den Nutztonnen-Kilometer 0,185 Pfennig betragen und auf Nebenbahnen von normaler Spurweite gewifs nicht unter 0,12 Pfennig herabgehen werden, so würden, wenn auf schmaler Spur diese

Kosten sich, wie schätzungsweise anzunehmen ist, um die Hälfte steigern sollten, bei einem Verkehr von 50 000 Tonnen Nutzlast jährlich für den Kilometer 50 000 · 0,06 Pfennig = 30 Mark mehr an Unterhaltungskosten der Wagen erforderlich werden.

Wenn die vorstehenden Rechnungen auch keineswegs als völlig befriedigend und erschöpfend bezeichnet werden können, so wird man doch auf Grund derselben behaupten können, dafs unter Voraussetzung gleicher Betriebsweise die Betriebskosten auf normaler und schmaler Spur nur unerheblich verschieden sein können, da das, was auf der Schmalspur an Zugkraftskosten gespart wird, an den Unterhaltungskosten der Wagen nahezu wieder eingebüfst wird.

Zieht man in Rechnung, dafs durch die Annahme der Schmalspur die Verwendung von Bahnausrüstungsgegenständen und Betriebsmitteln, welche auf den Hauptbahnen ausgeschieden wurden, aber für Lokalbahnen noch verwendbar sein würden, ausgeschlossen wird, dafs ferner in Zeiten eines aufsergewöhnlich starken Verkehrs die Aushülfe durch Betriebsmittel der angrenzenden Hauptbahnen unmöglich und daher die Beschaffung eines stärkeren Wagenparks erforderlich wird, dafs ferner die Schmalspurbahnen für Kriegszwecke und für einzelne Verkehrsgattungen nicht die gleiche Bequemlichkeit und Leistungsfähigkeit wie Normalspurbahnen besitzen, dafs endlich alle von normalspurigen Bahnen kommenden oder auf diese übergehenden Güter umgeladen werden müssen; so werden die Fälle nicht häufig vorkommen, in welchen diese Nachtheile durch die Ersparung an Anlagekosten, welche durch Einschränkung der Breiten-Abmessungen entsteht und welche im Ganzen nur 5 bis 10 Prozent des gesammten Anlagekapitals beträgt, ausgeglichen werden.

Von den Nachtheilen der Schmalspur hat in den meisten

Fällen die Nothwendigkeit des Umladens von Gütern die gröfste Bedeutung. Durch zweckmäfsige Umlade-Einrichtungen, Sturzgerüste, zuweilen sogar durch Uebersetzen der ganzen Wagenkasten von den Unterwagen der einen Spur auf die der andern, hat man die Kosten der Ausführung des Umladens oft auf ein geringes Mafs herabgebracht. Man darf dabei aber die Zinsen des Anlagekapitals und die Unterhaltungskosten aller für das Umladen hergestellten Anlagen nicht aufser Betracht lafsen und mufs unter Umständen auch den Zeitverlust, die Werthverschlechterung der Güter durch das Umladen und das Erfordernifs einer gröfseren Anzahl von Wagen berücksichtigen.

Betrüge für eine 25 Km lange Zweigbahn von 0,75 m Spurweite die Ersparung an Anlagekosten im Vergleich zur Normalspur die Summe von 25 · 3800 = 95000 Mark; und wären die Betriebskosten so grofs wie auf einer normalspurigen Bahn, so dürften nicht mehr, als die Zinsen jener Ersparung, also 0,04 · 95000 = 3800 Mark jährlich für das Umladen von Gütern ausgegeben werden, wenn die Schmalspur noch von Vortheil sein sollte. Rechnet man die Kosten des Umladens, einschliefslich aller Nebenkosten, zu durchschnittlich 0,2 Mark für die Tonne, so dürften also nicht mehr, als 19000 Tonnen jährlich umzuladen sein.

Die Entscheidung über die Frage, ob die Schmalspur für Lokalbahnen sich empfiehlt, kann, wie bereits erwähnt, allgemein nicht getroffen, sondern nach den hier erörterten Gesichtspunkten nur für bestimmte Fälle vorgenommen werden. Im Allgemeinen kann die Anwendung der Schmalspur nur da von Vortheil sein, wo beim Anschlufse an die Normalspur ein Umladen von Gütern, im Verhältnifs zur Länge der Schmalspurbahn, nur in geringfügigem Mafse erforderlich wird, oder wo, wie beim Anschlufse an Wasserstrafsen, ein Umladen auch bei

der Annahme der Normalspur nothwendig wäre, oder endlich da, wo die Anwendbarkeit schärferer Kurven zu besserer Anschmiegung an die Bodengestaltung oder an den Linienzug vorhandener Strafsen oder zur Einführung in bebaute Ortschaften erstrebt werden mufs.

Wenn man aber für die Schmalspur sich entscheidet, wird man sich wohl nur selten darauf beschränken dürfen, mit der Verschmälerung der Spurweite bis 1 m herabzugehen, sondern wird die Spurweite von 0,75 m wählen müssen, da bei 1 m Spurweite alle Nachtheile der Schmalspur in fast gleichem Mafse die Vortheile durch Ersparung an Baukosten aber in weit geringerem Mafse als bei der Spurweite von 0,75 m eintreten. Ein Herabgehen unter die Spurweite von 0,75 m, wie es mit oft hervorgehobenem Erfolge und unter besonderen Verhältnifsen bei der bekannten Festiniog-Bahn in England, welche nur 0,59 m Spurweite besitzt, geschehen ist, wird unter Berücksichtigung der Erschwerung einer guten Einrichtung der Betriebsmittel und wegen der eintretenden stärkeren Schwankungen und Stöfse der Wagen und Lokomotiven nicht empfehlenswerth erscheinen.

§ 19.

Die Krümmungsverhältnifse.

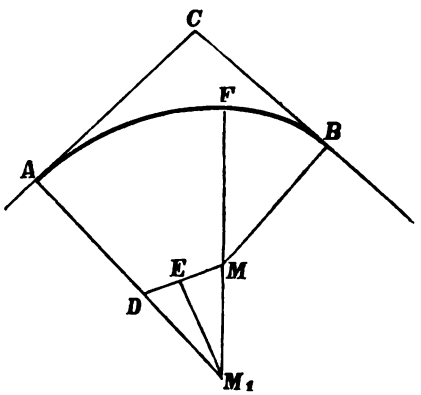
Zur Ausrundung der Knickpunkte der geradlinig gebrochenen Trafse wird bei Eisenbahnen ausschliefslich die Kreislinie verwendet, während bei Strafsen besser andere Kurven, welche einen sanfteren Anschlufs an die Tangente gestatten, wie z. B. die Parabel, gewählt werden. Für die Verwendung des Kreisbogens zu den Eisenbahn-Kurven ist der Umstand entscheidend, dafs von dem Krümmungshalbmesser die Ueberhöhung des äufseren Schienenstranges und die Spurerweiterung abhängt, für welche man zweckmäfsiger Weise gleich bleibende Mafse für die ganze oder doch nahezu ganze

Länge der Kurve erhalten muſs. Den sanfteren Anschluſs der Kurve an die Tangente und den Uebergang von der Schienen-Ueberhöhung und Spurerweiterung zur normalen Gleislage erreicht man bekanntlich durch die Einlegung von Uebergangskurven.

Wenn sich ein Kreisbogen wegen der gleichen Länge der Tangenten nicht in wünschenswerthem Maſse an die Boden-Gestaltung anschmiegen läſst, kann man zwischen ungleichen Tangenten einen aus zwei Kreisbögen von verschiedenen Halbmessern zusammengesetzten Korbbogen anordnen.

Ist der Halbmesser BM des an CB tangential sich anschlieſsenden Kreisbogens innerhalb der zuläſsigen Grenzen willkürlich zu $r = MB$ (Fig. 2) gewählt, so findet man den

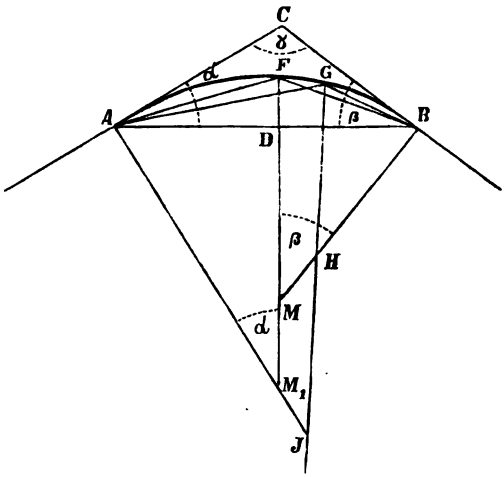
Fig. 2.



Halbmesser des zweiten von der Tangente AC ausgehenden Kreises, wenn man auf der gegen AC von C rechtwinklich gezogenen Linie $AD = MB = r$ aufträgt und von der Mitte E der Verbindungslinie DM eine rechtwinkliche Linie errichtet, deren Schnittpunkt M_1 mit der Verlängerung von AD den Mittelpunkt des von A ausgehenden Kreises liefert.

Verlangt man, dafs die Halbmesser der beiden Kreisbögen möglichst wenig von einander verschieden sein sollen, so sind die Winkel $CAB = \alpha$ (Fig. 3) und $CBA = \beta$ durch die

Fig. 3.



Linien AF und BF in zwei gleiche Theile zu theilen, worauf vom Schnittpunkte F der Theilungslinien aus die Linie FD rechtwinklich gegen AB gezogen wird und in den Schnittpunkten mit den Linien AM_1 und BM_1 welche rechtwinklich gegen die Tangenten AC und BC gezogen sind, die Mittelpunkte M und M_1 der Kreise liefert, deren Halbmesser möglichst wenig von einander verschieden sind.

Zum Beweise beachte man zunächst, dafs der Winkel AFB oder AGB, welchen die Sehnen der beiden Kreisbögen einschliefsen, stets, wie man auch die Halbmesser der Kreise bestimmen mag, die gleiche Gröfse $180 - \frac{1}{2}(\alpha + \beta)$ haben mufs. Zieht man daher eine Linie AG unter einem Winkel $\frac{\alpha}{2} - x$ gegen AB, so mufs man von B aus eine Linie BG

unter dem Winkel $\frac{\beta}{2} + x$ gegen AB ziehen, um in dem Schnittpunkte G den Berührungspunkt der beiden Kreise des Korbbogens zu finden, deren Mittelpunkte J und H man erhält, wenn man in der Mitte der Sehnen AG und BG rechtwinkliche Linien errichtet.

Bezeichnet man den Halbmesser HB mit r und den Halbmesser AJ mit R, so ist:

$$AG = 2\,R \sin\left(\frac{\alpha}{2} + x\right)$$

und

$$BG = 2\,r \sin\left(\frac{\beta}{2} - x\right)$$

also

$$\frac{r}{R} = \frac{BG \sin\left(\frac{\alpha}{2} + x\right)}{AG \sin\left(\frac{\beta}{2} - x\right)}$$

oder da

$$\frac{BG}{AG} = \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2} - x\right)}{\sin\left(\frac{\beta}{2} + x\right)}$$

auch:

$$\frac{r}{R} = \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2} - x\right) \sin\left(\frac{\alpha}{2} + x\right)}{\sin\left(\frac{\beta}{2} + x\right) \sin\left(\frac{\beta}{2} - x\right)}$$

oder

$$\frac{r}{R} = \frac{\sin^2\frac{\alpha}{2} - \sin^2 x}{\sin^2\frac{\beta}{2} - \sin^2 x}.$$

Hiernach wird $\frac{r}{R}$ am größten für $x = 0$, wie zu beweisen war.

Die der gestellten Bedingung entsprechenden Werthe von r und R findet man, wenn $AB = \varrho$ und Winkel $ACB = \gamma$ gesetzt wird, zu:

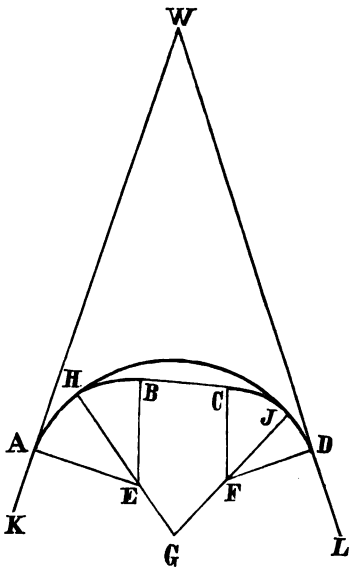
$$r = \frac{\varrho}{2} \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\beta}{2} \cos \frac{\gamma}{2}}$$

und

$$R = \frac{\varrho}{2} \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\gamma}{2}}.$$

Weichen zwei Kreisbögen von einer kurzen Zwischengeraden nach derselben Seite ab, so soll nach § 17 der Technischen Vereinbarungen, falls die Länge der Zwischengeraden weniger als 40 m beträgt, die Gleisüberhöhung der Kurven auch in der Zwischengeraden durchgeführt werden. Zweckmäfsiger wird es aber im Allgemeinen sein, solche kurze Zwischengeraden durch Einlegung eines dritten Kreisbogens, also durch einen Korbbogen aus drei Mittelpunkten, zu vermeiden. Nach Fig. 4 wird man, wenn für den mittleren Kreisbogen der Halbmesser R_1 angenommen wird, den Mittelpunkt G desselben durch den Schnitt eines Bogens mit dem Halbmesser $R_1 - R$ aus E mit dem Bogen vom Halbmesser $R_1 - r$ aus F finden. Zuweilen

Fig. 4.



wird es auch zweckmäfsig sein, die Tangenten AK und DL der beiden Kreisbögen zum Schnitt in W zu bringen und in den Winkel AWD einen Korbbogen aus zwei Mittelpunkten nach dem früher angegebenen Verfahren einzulegen.

Weichen die Kurven in entgegengesetztem Sinne von der Geraden ab, so soll dagegen nach § 3 der Vereinbarungen die Länge der Zwischengeraden zwischen den Ueberhöhungsrampen des äufseren Schienenstranges mindestens 10 m betragen. Diese Bestimmung gilt auch für Nebenbahnen und für Lokalbahnen.

Für die Gotthardbahn*) wurde die Länge der Zwischengeraden zwischen Gegenkurven auf 40 m zwischen den Ueberhöhungsrampen der äufseren Schienen festgestellt. Diese Länge, welche für die schärfsten Kurven gilt, kann bei gröfseren Krümmungshalbmessern geringer sein; bei Kurven von mehr als 2000 m Halbmesser kann die Zwischengerade ganz fortfallen.

§ 20.

Uebergangskurven.

Die Uebergangskurven hängen von dem Mafse der Schienenüberhöhung und von der Länge der Ueberhöhungsrampen ab, weshalb auch hierüber schon bei der Trafsirung Bestimmungen getroffen werden müssen. In § 17 der Technischen Vereinbarungen wird in dieser Beziehung vorgeschrieben:

„In Krümmungen mufs die äufsere Schiene mit Berücksichtigung der gröfsten auf der betreffenden Bahnstrecke gestatteten Fahrgeschwindigkeit um so viel höher als die innere gelegt werden, dafs von den Spurkränzen der Räder

*) Hellwag, die Bahnachse und das Längenprofil der Gotthardbahn. Zürich 1876.

ein thunlichst geringer Angriff auf die inneren Schienenkanten ausgeübt wird."

„Die Ueberhöhung des äufseren Schienenstranges soll an den Tangentialpunkten des Kreisbogens vollständig vorhanden sein."

„Die Ueberhöhung mufs in den geraden Linien beziehendlich in den parabolischen Uebergangskurven auf eine Länge auslaufen, welche mindestens das 200-fache der Ueberhöhung beträgt."

Diese Bestimmungen gelten auch für Nebenbahnen und für Lokalbahnen.

Es erscheint zweckmäfsig mit der Länge der Ueberhöhungsrampen über das durch die Technischen Vereinbarungen festgesetzte geringste Mafs hinauszugehen. Bei der Gotthardbahn wurde die Länge dieser Rampen, also auch die Länge der Uebergangskurven, für die Bergstrecken mit Steigungen von 0,026 auf 40 m festgestellt, mithin bei 100 mm Schienen-Ueberhöhung in Kurven von 300 m Halbmesser auf das 400-fache der Schienen-Ueberhöhung, und für die Anschlufslinie mit Steigungen von 0,010 sogar auf 80 m Länge, mithin bei 150 mm Schienen-Ueberhöhung in den Kurven von 300 m Halbmesser auf das $533^1/_3$-fache der Schienen-Ueberhöhung. Bei Kurven von gröfserem Halbmesser wurde die Länge der Uebergangskurven ermäfsigt und bei 2000 m Kurven-Halbmesser wurden die Uebergangskurven ganz fortgelassen.

Die durch die „Technischen Vereinbarungen" geforderte Schienen-Ueberhöhung, durch welche ein thunlichst geringer Angriff auf die innern Schienenkanten erreicht wird, ist ein Mafs h, welches sich zum Spurmafs m verhält, wie die Centrifugalkraft C zum Gewicht Q des Wagens, so dafs also sein mufs:

$$h = \frac{C\,m}{Q}$$

oder da bei einer Geschwindigkeit von v Metern in der Sekunde und bei einem Krümmungshalbmesser r in Metern $C = \frac{Q}{g}\frac{v^2}{r}$ ist:

$$h = \frac{m v^2}{g} \cdot \frac{1}{r}.$$

Setzt man das Spurmafs $m = 1{,}5$ die Beschleunigung der Schwerkraft $g = 10$, so ist also:

$$h = 0{,}15\ v^2 \cdot \frac{1}{r}.$$

Für die gröfste Geschwindigkeit von 90 Km in der Stunde oder 25 m in der Sekunde, würde also die Schienen-Ueberhöhung $= \frac{94}{r}$, für Bahnen, auf welchen keine Schnellzüge verkehren und eine Geschwindigkeit von 60 Km in der Stunde oder $16^2/_3$ m in der Sekunde nicht überschritten wird, rund $h = \frac{40}{r}$ und für Lokalbahnen bei 20 Km Geschwindigkeit in der Stunde oder $5^5/_9$ m in der Sekunde, $h = \frac{4{,}5}{r}$ sein müssen. Allgemein ist also zu setzen $h = \frac{c}{r}$.

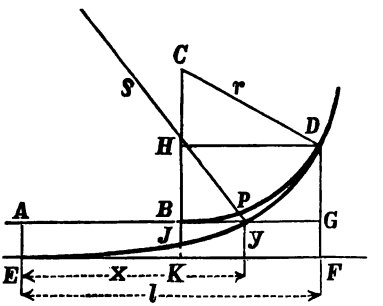
Gewöhnlich wird die Schienen-Ueberhöhung durch Einlegung einer geradlinig ansteigenden Rampe in den äufsern Schienenstrang bei unverändert bleibender Höhenlage des inneren Schienenstranges erreicht. Es empfiehlt sich aber mehr, wie auch bei der Gotthardbahn durchgeführt wurde, den äufsern Schienenstrang um die Hälfte der Ueberhöhung ansteigen und den innern Schienenstrang um das gleiche Mafs niedersteigen zu lafsen, um die Höhenlage des Schwerpunkts der Wagen unverändert zu erhalten.

Wird keine Uebergangskurve angeordnet, so fällt die Ueberhöhungsrampe ganz in die anschliefsende Tangente, so dafs am Kurven-Anfang die volle Ueberhöhung erreicht ist,

wird aber eine Uebergangskurve eingelegt, so wird die Ueberhöhungsrampe der Art angeordnet, dafs am ursprünglichen Anfangspunkte des Kreisbogens die halbe Ueberhöhung erlangt ist.

Für die Form der Uebergangskurve ist die Bedingung aufzustellen, dafs der Krümmungshalbmesser ϱ derselben überall der vorhandenen Schienen-Ueberhöhung s nach der Gleichung $s = \frac{c}{\varrho}$ entspricht, wonach also am Anfangspunkte der Ueberhöhungsrampe der Krümmungshalbmesser $\varrho = \infty$ und an der Stelle, wo die volle Schienen-Ueberhöhung erreicht ist und die Uebergangskurve sich dem Kreisbogen anschliefst, $\varrho = r$ sein mufs.

Fig. 5.



Ist nach Fig. 5 der Mittelpunkt des Kreisbogens BD vom Halbmesser $CB = CD = r$ in C und AB die diesem Kreisbogen sich anschliefsende Tangente, so mufs zur Einlegung der Uebergangskurve $EJPD$ die Kreistangente um ein bestimmtes Mafs $AE = BK = GF = u$ nach Aufsen verschoben werden. Mifst man auf dieser neuen Lage der Tangente die Abscissen x der Uebergangskurve und vernachläfsigt den Unterschied zwischen Bogenlänge und Abscissenlänge, was im vorliegenden Falle durchaus zuläfsig erscheint, so ist im

Punkte P der Uebergangskurve, dessen Abscisse x ist, eine Ueberhöhung $z = \frac{x}{l} h$ erreicht und es muſs für den Krümmungshalbmesser in diesem Punkte P die Bedingung:

$$\frac{o}{\varrho} = z = \frac{x}{l} h$$

oder

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{h}{ol} x$$

erfüllt sein. Setzt man zur Abkürzung $\frac{h}{ol} = \frac{1}{q}$ so folgt die einfache Beziehung $\frac{1}{\varrho} = \frac{x}{q}$. Da für Hauptbahnen der Koeffizient o für die Schienen-Ueberhöhung gewöhnlich zwischen 30 und 60 liegt, und das Steigungsverhältniſs der Ueberhöhungsrampe $\frac{h}{l}$ zwischen $\frac{1}{200}$ und $\frac{1}{400}$ beträgt, so bewegt sich q für Hauptbahnen zwischen 6000 und 24000, geht für Lokalbahnen aber auf 1000 bis 2000 herab.

Setzt man annähernd $\frac{1}{\varrho} = \frac{d^2y}{dx^2}$, so erhält man für die Uebergangskurve die einfache Differentialgleichung:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{q}$$

aus deren zweimaliger Integration, wobei die Konstante beide Male gleich Null sein muſs, man die Gleichung der Uebergangskurve zu:

(Gl. 18) . . . . . $y = \frac{1}{6q} x^3$

findet. Diese kubische Parabel ist allerdings nur eine annähernd zutreffende Form der Uebergangskurve, aber für die praktischen Anforderungen völlig genau genug.

Die End-Ordinate der Uebergangskurve $y_1 = DF$ ist also:

$$y_{\text{I}} = \frac{1}{6q} l^3$$

während die Ordinate des Kreisbogens an dieser Stelle $y_{\text{II}} = DG$, bezogen auf die ursprüngliche Lage der Kreistangente ABG genau genug, da $BG = HD = {}^1/_2\ l$ ist, zu setzen ist:

$$y_{\text{II}} = \frac{1}{8} \frac{l^2}{r}$$

wofür, da $\frac{1}{r} = \frac{l}{q}$ ist, auch geschrieben werden kann:

$$y_{\text{II}} = \frac{1}{8q} l^3.$$

Es mufs also zur Einlegung der Uebergangskurve die ursprüngliche Kreistangente um $u = y_{\text{I}} = y_{\text{II}}$, also um:

(Gl. 19) . . . . . $u = \frac{1}{24q} l^3$

nach aufsen verschoben werden, oder da $l = \frac{q}{r}$ ist, wie ein Mafs:

(Gl. 20.) . . . . . $u = \frac{q^2}{24\, r^3}$.

Die Ordinate JK der Uebergangskurve am ursprünglichen Anfangspunkte des Kreisbogens erhält man für $x = {}^1/_2\ l$ zu:

$$JK = \frac{1}{48q} l^3 = {}^1/_2\ u$$

wonach also die Uebergangskurve am ursprünglichen Anfangspunkte des Kreisbogens in der Mitte zwischen der Lage der Kreistangente und der Tangente des Anfangspunktes der Uebergangskurve liegt.

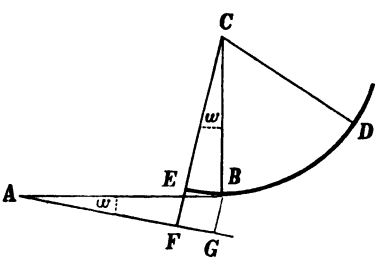
Ist beispielsweise $c = 50$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{300}$, also $q = 15000$ und die Gleichung der Uebergangskurve $y = \frac{1}{90000} x^3$, so ist

für $x = 10$ m $y = 0{,}011$ m,
„ $x = 20$ „ $y = 0{,}089$ „
„ $x = 30$ „ $y = 0{,}300$ „
„ $x = 40$ „ $y = 0{,}711$ „
„ $x = 50$ „ $y = 1{,}389$ „
„ $x = 60$ „ $y = 2{,}400$ „

Die Verschiebung der Kreis-Tangente nach aufsen mufs $\frac{1}{360000} l^3$ betragen, also für einen Kreisbogen von 500 m Halbmesser, für welchen $l = 300 \cdot \frac{50}{500} = 30$ m ist, $u = 0{,}075$ m, für einen Kreisbogen von 375 m Halbmesser also für $l = 300 \cdot \frac{50}{375} = 40$ m, $u = 0{,}178$, für einen Kreisbogen von 300 m Halbmesser, also für $l = 300 \cdot \frac{50}{300} = 50$ m, $u = 0{,}347$ m, und für einen Kreisbogen von 250 m Halbmesser, also für $l = 300 \cdot \frac{50}{250} = 60$ m, $u = 0{,}600$ m.

Statt die Tangente in eine zu ihrer ursprünglichen Richtung parallele Lage zu verschieben, kann man dieselbe zuweilen zweckmäfsiger um irgend einen Punkt in entsprechender Weise drehen. Findet die Drehung der Tangente AB (Fig. 6) um den Punkt A statt, so rückt bei einer Drehung um den Winkel ω der Anfangspunkt des Kreisbogens von B nach E um das Mafs $r \sin \omega$ vor. EF mufs gleich u sein und daher $BG = u + r(1 - \cos\omega)$ oder annähernd $BG = u + \frac{1}{2} r \sin^2 \omega$. Der Drehungswinkel ω mufs der Gleichung

Fig. 6.



$\sin \omega = \frac{BG}{AB}$ oder wenn $AB = \lambda$ gesetzt wird, der Gleichung:

$$\sin \omega = \frac{u}{\lambda} + {}^1/_2 \frac{r}{\lambda} \sin^2 \omega$$

genügen, woraus man erhält:

$$\sin \omega = \frac{\lambda}{r} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,u\,r}{\lambda^2}}\right)$$

wofür in den meisten Fällen, wenn λ nicht zu klein ist, gesetzt werden kann

(Gl. 21.) . . . . . $\sin \omega = \frac{u}{\lambda}$

wonach dann das Vorrücken des Kreisbogen-Anfangs von B nach $E = \frac{u\,r}{\lambda}$ ist.

Statt einer Verschiebung oder Drehung der Kreistangente kann aber auch bei unveränderter Lage dieser Tangente eine Verschiebung des Kreismittelpunktes vorgenommen werden, welche in der Halbirungslinie des Centriwinkels α des Kreisbogens um $\frac{u}{\cos {}^1/_2\,\alpha}$ nach Innen geschehen mufs, wobei der Anfangspunkt des Kreisbogens um u tang ${}^1/_2\,\alpha$ vorrückt.

Endlich kann bei unveränderter Lage der Tangente und des Mittelpunktes des Kreises auch eine Verkleinerung des Kreishalbmessers zur Einlegung der Uebergangskurve vorgenommen werden. Die Verkleinerung des Halbmessers r um das Mafs u hat auf die Form der nach dem Halbmesser r berechneten Uebergangskurve keinen bemerkenswerthen Einflufs.

Die Länge der Uebergangskurven $l = \frac{q}{r}$ nimmt mit Abnahme des Krümmungshalbmessers r zu, so dafs in einzelnen Fällen bei kleinem Halbmesser und kleinem Centriwinkel die Länge der Kurve für die Einlegung der Uebergangskurven nicht ausreicht, zwischen deren Enden auch noch ein Stück

Kreisbogen verbleiben muſs, damit die Ueberhöhungsrampen des äuſseren Schienenstranges nicht in einer Spitze zusammentreffen. In solchen Fällen bleibt nichts anderes übrig, als den Krümmungshalbmesser des Kreisbogens zu vergröſsern, was bei so kurzen Kurven auch ohne Schwierigkeit wohl stets durchführbar sein wird. Wäre z. B. der Koeffizient $q = 15000$, der Centriwinkel der Kurve $\alpha = 8^0$, so wäre bei 300 m Kurvenhalbmesser die Länge des Kreisbogens 42 m, die erforderliche Länge der Uebergangskurve, von welcher zwei halbe Längen an Stelle des Kreisbogens treffen, aber 50 m. Durch eine Vergröſserung des Krümmungshalbmessers auf 350 m würde die Länge des Kreisbogens 49 m, die Länge der Uebergangskurve 42,9 m, so daſs jetzt zwischen den Spitzen der Ueberhöhungsrampen ein kreisbogenförmiges Stück von 6,1 m verbleibt. Die Vergröſserung des Krümmungshalbmessers von 300 auf 350 m würde aber bei unveränderter Lage der Tangenten nur eine Verschiebung des Bogenscheitels um 0,135 m nach Innen zur Folge haben, also wohl kaum auf Schwierigkeiten stoſsen können.

Zwischen Gegenkurven muſs mit Rücksicht auf die Uebergangskurven eine Zwischengerade angeordnet werden, welche etwas länger, etwa $1^1/_2$ mal so lang als die durchschnittliche Länge der beiden Uebergangskurven ist. Bleibt die Zwischengerade unverändert in der Lage als Tangente der beiden Kreisbögen, so müssen entweder die Mittelpunkte der beiden Kreisbögen verschoben oder deren Halbmesser verkleinert werden. Einfacher ist es meistens, die kurze Zwischengerade um einen Winkel ω zu drehen, welcher aus der Gleichung

$$\lambda \sin \omega = u + u_1 + (r + r_1)(1 - \cos \omega)$$

erhalten wird, wofür gesetzt werden kann:

$$\lambda \sin \omega = u + u_1 + {}^1/_2 (r + r_1) \sin^3 \omega$$

oder meistens genau genug:

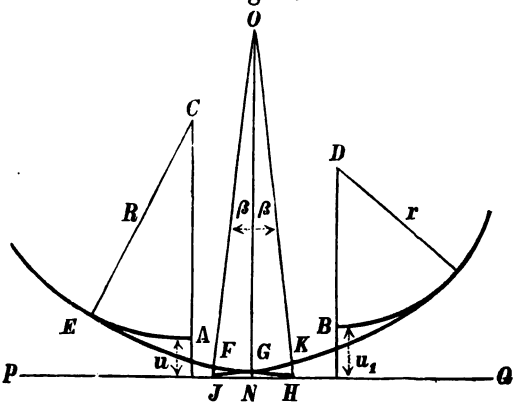
(Gl. 22.) . . . . $\sin \omega = \frac{u + u_1}{\lambda}$

wobei λ die Länge der Zwischengeraden zwischen den ursprünglichen Anfangspunkten der Kreisbögen, u und u_1 die erforderlichen Verschiebungen der Tangenten der beiden Kreisbögen und r und r_1 die Halbmesser der Kreisbögen bezeichnen. Die Anfangspunkte der Kreisbögen rücken durch die Drehung der Zwischengeraden einander um die Mafse $r \sin \omega$ und $r_1 \sin \omega$ näher (vergl. Fig. 6).

Sind beispielsweise $r = 300$ und $r_1 = 250$, sei $q = 15000$ also $u = 0{,}347$ und $u_1 = 0{,}600$, ferner $\lambda = 75$, so ist $\sin \omega = 0{,}126$ und daher die Verkürzung der Zwischengeraden $250 \cdot 0{,}126 + 300 \cdot 0{,}126 = 6{,}93$ m, so dafs zwischen den Anfangspunkten der 50 und bezw. 60 m langen Uebergangskurven nur eine Gerade von $75 - \frac{1}{2}(50 + 60) - 6{,}93 = 13{,}07$ m Länge verbleibt.

Weichen zwei Kreisbögen von den Halbmessern R und r nach der gleichen Seite von einer Zwischengeraden ab, so können bei geringer Länge der letzteren die Uebergangskurven unter einem stumpfen Winkel zum Schnitt kommen, wie in Fig. 7 dargestellt ist. Dieser Knickpunkt läfst sich aber durch

Fig. 7.



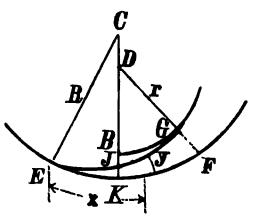
einen Kreisbogen ausrunden, innerhalb dessen auch die Schienen-Ueberhöhung unverändert bleibt. Zunächst werden die Mittelpunkte der Kreisbögen C und D von der Richtung der Zwischengeraden PQ um die Maſse $u = \frac{1}{24}\frac{q^2}{R^3}$ und bezw. $u_1 = \frac{1}{24}\frac{q^2}{r^3}$ abgerückt. Der Schnittpunkt G der beiden Uebergangskurven fällt dann in die Mitte zwischen die Anfangspunkte J und H derselben, welche einen Abstand $JH = x$ von einander haben mögen. Der Krümmungshalbmesser der Uebergangskurven ist in den über den Abscissenpunkten J und H liegenden Kurvenpunkten F und K der gleiche, nämlich $\varrho = \frac{q}{x}$; ebenso ist der Neigungswinkel der Tangente in diesen Kurvenpunkten, also auch der Winkel des Krümmungshalbmessers gegen die Vertikale der gleiche, nämlich $\operatorname{tang} \beta = \frac{dy}{dx} = {}^1/_2 \frac{x^2}{q}$. Die Projektion des Krümmungshalbmessers auf die Abscissen-Achse $\varrho \sin \beta$ kann genau genug gesetzt werden gleich $\varrho \operatorname{tang} \beta = \frac{q}{x} \cdot {}^1/_2 \frac{x^2}{q} = {}^1/_2 x$. Es treffen also die Krümmungshalbmesser ϱ der beiden Kurvenpunkte F und K in einem Punkte O zusammen, aus welchem man einen Kreis beschreiben kann, der sich in den Punkten F und K tangential an die Uebergangskurven anschlieſst. Auf die Länge dieses Ausrundungsbogens werden die Ueberhöhungsrampen der Schienen, welche nicht bis zu ihrem Fuſspunkte auslaufen, durch eine Strecke mit gleichbleibender Schienen-Ueberhöhung verbunden.

Mit zunehmender Verkürzung der Zwischengeraden rückt der Punkt F, in welchem der Ausrundungsbogen zwischen den Uebergangskurven beginnt, dem Punkte E näher, in welchem sich die Uebergangskurve dem Kreisbogen vom Halbmesser R anschlieſst, bis im Grenzfalle beide Punkte zusammenfallen, der Mittelpunkt O des Ausrundungsbogens in den Mittelpunkt

C des Kreisbogens fällt und der Halbmesser des Ausrundungsbogens gleich R wird. Es bleibt dann nur eine einzige Uebergangskurve bestehen, welche von dem Kreise mit dem Halbmesser R die Ueberleitung zu dem Kreise mit dem Halbmesser r, also die Uebergangskurve zwischen den beiden Kreisen eines Korbbogens bildet.

Die Länge der Uebergangskurve ist dann $q\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{R}\right)$. Der Anfangspunkt B des kleineren Kreises aus dem Mittelpunkte D mit dem Halbmesser r (Fig. 8) mufs dann gegen den Endpunkt K des gröfseren Kreises aus dem Mittelpunkte C mit dem Halbmesser R um das Mafs $BK =$ (Gl. 23.) . $u = \frac{q^2}{24}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{R}\right)^3$ zurückspringen und die Uebergangskurve EJG tritt mit der Hälfte EJ ihrer Länge an Stelle des Kreises von gröfserem Halbmesser und mit der anderen Hälfte JG an Stelle des Kreises mit dem kleineren Halbmesser. Die Ordinaten der Uebergangskurve werden nach Gleichung 18:

Fig. 8.



$$y = \frac{1}{6q}x^3$$

von dem gröfseren Kreise, auf welchem von E ab die Abscissen gemessen werden, nach Innen abgesteckt. Am Uebergangspunkte der beiden Kreise liegt die Uebergangskurve im Punkte J in der Mitte zwischen dem Abstande u der beiden Kreise.

Wäre beispielsweise der Halbmesser $r = 300$, $R = 1000$ und der Koeffizient $q = 15000$, so müfste $n = \frac{15000^2}{24}\left(\frac{1}{300}-\frac{1}{1000}\right)^3$ = 0,119 m und die Länge der Uebergangskurve =

$15000\ \frac{1}{300} - \frac{1}{1000} = 35$ m sein. Die von dem Kreisbogen mit dem Halbmesser 1000, auf welchem die Abscissen gemessen werden, nach Innen abzusteckenden Ordinaten hatten nach Gl. 18 die Gröfse

$$y = 0{,}011 \text{ m für } x = 10 \text{ m},$$
$$y = 0{,}060 \text{ m für } x = 17\tfrac{1}{2} \text{ m},$$
$$y = 0{,}174 \text{ m für } x = 25 \text{ m},$$
$$y = 0{,}477 \text{ m für } x = 35 \text{ m}.$$

Helmert, welcher in dem Buche: „Die Uebergangskurven der Eisenbahngleise“*) die bei Anordnung und Berechnung der Uebergangskurven möglichen Fälle in erschöpfender Weise behandelt, giebt allerdings auch für den Fall, dafs die Kreisbögen des Korbbogens sich unmittelbar tangential aneinander schliefsen, zwei Verfahrungsarten zur Einlegung von Uebergangskurven an. Die hierbei entstehenden Uebergangskurven sind aber für die praktische Verwendung wenig empfehlenswerth, da sie sehr lang sind und sich aus drei verschiedenen Strecken zusammensetzen. Es weicht nämlich entweder die Uebergangskurve von dem Kreise gröfseren Halbmessers nach Aufsen unter Zunahme des Krümmungshalbmessers und Abnahme der Schienen-Ueberhöhung ab, geht dann in einen Kreisbogen mit gröfserm Halbmesser als R und mit gleichbleibender Schienenüberhöhung über und aus diesem wieder unter Abnahme des Krümmungshalbmessers und Zunahme der Schienen-Ueberhöhung in den Kreisbogen vom Halbmesser r, oder es weicht die Uebergangskurve aus dem Kreise vom Halbmesser r nach Innen unter Abnahme des Krümmungshalbmessers und Zunahme der Schienen-Ueberhöhung ab, geht dann in einen Kreisbogen von kleinerem Halbmesser als r und

*) Aachen 1872 bei J. A. Mayer.

mit gleichbleibender Schienen-Ueberhöhung über und aus diesem wieder unter Zunahme des Krümmungshalbmessers und Abnahme der Schienen-Ueberhöhung zu dem Kreise vom Halbmesser R. Offenbar verdient für die praktische Verwendung eine Uebergangskurve den Vorzug, welche von dem Kreise mit kleinerem Halbmesser zu dem Kreise mit gröfserem Halbmesser unter stetiger Zunahme des Krümmungshalbmessers, welcher weder kleiner als r noch gröfser als R wird, und unter, im Längenschnitt gradlinig abnehmender Schienenüberhöhung überleitet. Diese einfachste und zweckmäfsigste Anordnung erreicht man, wenn man in der angegebenen Weise nach Gl. 23 den Anfangs- und Endpunkt der beiden Kreisbögen in der Richtung ihrer Halbmesser gegeneinander verschiebt.

§ 21.

Wahl der Krümmungshalbmesser.

Ueber die Gröfse der Krümmungshalbmesser enthalten die „Technischen Vereinbarungen“ in § 3 die folgenden Bestimmungen:

„Die Halbmesser der Kurven in freier Bahn sollen möglichst grofs gewählt werden. Halbmesser unter 300 m sind nur ausnahmsweise zuläfsig. Kurven von weniger als 180 m Halbmesser sind unzuläfsig. In den steileren Steigungen einer Bahn sollen möglichst flache Kurven angewendet und die Steigungswechsel thunlichst in die Gerade gelegt werden.“

Diese Bestimmungen gelten auch für die Nebenbahnen, wogegen durch die Grundzüge für den Bau und Betrieb der Lokalbahnen bestimmt wird:

„Der Halbmesser der Krümmungen soll bei Normalspurbahnen, auf welche Hauptbahnwagen übergehen, in der Regel

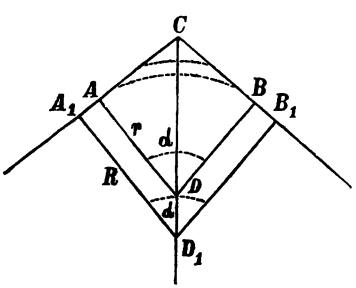
nicht kleiner als 150 m sein, keinenfalls aber weniger als 100 m betragen, bei Bahnen mit schmaler Spur eine der Spurweite und den Betriebsmitteln angemessene Gröfse haben und in der Regel bei 1 m Spurweite nicht kleiner als 70 m, bei 0,75 m Spurweite nicht kleiner als 50 m sein. Bei normalspurigen Bahnen mit eigenartigen Betriebsmitteln kann bei entsprechender Bauart der letzteren auch ein kleinerer Halbmesser zur Anwendung kommen."

Zur Beurtheilung der Betriebskosten, welche die Kurven verursachen, mufs man unterscheiden, ob dieselben in Strecken mit schädlicher oder mit unschädlicher Steigung liegen, da, wie im § 10 hervorgehoben wurde, die Betriebskostenvermehrung durch die Kurven in schädlichen Steigungen, wo sie nur in einer Fahrrichtung vermehrten Dampfverbrauch veranlassen, bei sonst gleichen Umständen nur halb so grofs ist als in unschädlichen Steigungen.

Wird der Halbmesser einer Kurve, deren Centriwinkel α ist, von r auf R vergröfsert, so wächst die Länge der Kurve von αr auf αR, die zur Ueberwindung des Kurven-Widerstandes erforderliche Arbeit bleibt aber unverändert $= \frac{c}{r} \cdot \alpha r = \frac{c}{R} \alpha R = c\alpha$. Die Trafse erfährt aber nach Fig. 9 eine Verkürzung:

$$\lambda = (R - r)(2 \operatorname{tg} {}^1/_2 \alpha - \alpha).$$

Fig. 9.



Sind die Unterhaltungskosten für den Km $= U$, die Betriebskosten für den Nutztonnen-Kilometer nach Gl. 10 § 13 in Pfennigen:

$$k = 0{,}56 + 23{}^1/_3\, s + 39{}^2/_3\, s_1$$

und für den Personen-Kilometer nach Gl. 11 § 13 in Pfennigen:

$$k = 0{,}973 + 10^2/_3\, s + 29^1/_3\, s_1$$

in welchen Formeln bekanntlich s die maſsgebende Steigung der Bahn und s_1 die betreffende Steigung der in Rechnung gezogenen Strecke bezeichnen. Werden T Tonnen Nutzlast und P Personen im Jahre befördert, so sind die Unterhaltungs- und Betriebskosten auf der flacheren Kurve von A_1 bis B_1, deren Länge l_1 und Steigung s_1 ist, abgesehen von dem Kurven-Widerstande:

$$S_1 = l_1 \{U + T(0{,}56 + 23^1/_3\, s + 39^2/_3\, s_1) + P(0{,}973 + 10^2/_3\, s + 29^1/_3\, s_1)\}$$

oder wenn der Höhen-Unterschied zwischen A_1 und $B_1 = h$, also $l_1 s_1 = h$ ist:

$$S_1 = l_1 \{U + T\,(0{,}56 + 23^1/_3\, s) + P\,(0{,}973 + 10^2/_3\, s)\} + (39^2/_3\, T + 29^1/_3\, P)\, h.$$

Die gleichen Kosten auf der Strecke $A_1 A B B_1$ mit der schärferen Kurve sind:

$$S_{11} = l_{11} \{U + T\,(0{,}56 + 23^1/_3\, s) + P\,(0{,}973 + 10^2/_3\, s)\} + 39^2/_3\, T + 29^1/_3\, P)\, h$$

mithin ist die Ersparung für die flachere Kurve:

(Gl. 24.) . . $$E = (l_{11} - l_1) \{U + T\,(0{,}56 + 23^1/_3\, s) + P\,(0{,}973 + 10^2/_3\, s)\}$$

oder wenn für die Abkürzung der früher angegebene Werth $\lambda = l_{11} - l_1$ eingesetzt wird:

(Gl. 25.) . . . . $$E = (R - r)\,(2 \operatorname{tang} {}^1/_2\, \alpha - \alpha)\, \{U + T(0{,}56 + 23^1/_3\, s) + P\,(0{,}973 + 10^2/_3\, s)\}.$$

Diese Ersparung ist also ganz unabhängig von dem Steigungsverhältnisse der Strecke. So lange sie gröfser ist als die Zinsen der Vermehrung der Anlagekosten, welche bei Verflachung der Kurve eintritt, ist diese Verflachung vortheilhaft.

Wäre beispielsweise $U = 3000$ Mk. $= 300\,000$ Pf.,

$T = 600\,000$ Tonnen, $P = 400\,000$ Personen, $s = 0{,}01$, $\alpha = 60^0$, also das Bogenmafs $\alpha = 1{,}047$ und tang $^1/_2\,\alpha = 0{,}577$, so wäre E in Mark, wenn die Kurvenhalbmesser R und r in Metern angegeben werden, rund:

$$E = 1{,}29\ (R - r) \text{ Mark.}$$

Bei Anwendung eines Halbmessers von $R = 400$ m statt eines solchen von $r = 300$ m würden also jährlich durch die eintretende Verkürzung der Linie, welche 10,7 m beträgt, an Unterhaltungs- und Betriebskosten 129 Mk. erspart. Würden die Anlagekosten durch die Verflachung der Kurve um weniger als $\frac{129}{0{,}04} = 3225$ Mk. vermehrt, so verdiente diese flachere Kurve von 400 m Halbmesser den Vorzug.

Wäre der Centriwinkel der Kurve 90^0 statt 60^0, wäre ihre Länge also $1^1/_2$ mal gröfser, so würde die Ersparung bei Vergröfserung des Krümmungshalbmessers das Vierfache, wäre aber der Centriwinkel nur 30^0 statt 60^0, die Kurve also nur halb so lang, so ginge die Ersparung auf $^1/_8$ zurück. Es ist daher die Verflachung der Kurven von gröfserem Centriwinkel von weit erheblicherer Bedeutung, ebenso ist auch bei stärkerem Verkehr oder bei gröfserem Werthe der mafsgebenden Steigung eine Verflachung der Kurven in erhöhtem Mafse geboten.

Bei der vorstehenden Rechnung hat der Umstand nicht berücksichtigt werden können, dafs mit der Verkleinerung des Krümmungshalbmessers die Abnutzung der Schienen und der Radreifen in starkem Mafse zunimmt, weil es zur Zeit in dieser Beziehung noch an benutzbaren Beobachtungen fehlt. Jedenfalls ist der Nutzen einer Verflachung der Kurven in Berücksichtigung dieses Umstandes weit erheblicher als der, nach der entstehenden Verkürzung der Linie berechnete.

Auf Gebirgsstrecken, bei denen eine künstliche Längen-Entwicklung der Trafse vorgenommen werden mufs, kommt bei Verringerung des Kurvenhalbmessers auch allein die Ersparung an Abnutzung der Schienen und Radreifen in Betracht, da die Verkürzung der Trafse, welche durch Verkleinerung des Krümmungshalbmessers entsteht, an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden mufs.

Da auf den Gebirgsrampen die Zugkraft der Lokomotive voll zur Ausnutzung gelangt, so mufs die in gerader Linie vorhandene mafsgebende Steigung s in Kurven um das Mafs des Kurvenwiderstandes $c = \frac{1}{r}$ vermindert werden. Durch die Kurve, deren Länge $\lambda = \alpha r$ ist, wird also eine Höhe $h_1 = \alpha r \left(s - \frac{1}{r}\right) = \alpha r s - \alpha = \lambda s - \alpha$ gewonnen. Da aber λs die Höhe h ist, welche erstiegen werden würde, wenn die Längen-Erstreckung der Kurve in gerader Linie läge, so folgt, dafs die durch die Kurve gewonnene Höhe h_1 um das Mafs des Centriwinkels α, in Bogenmafs ausgedrückt, kleiner ist als bei gleich langer Strecke in gerader Linie.

Verkleinert man das Steigungsverhältniss s der geraden Linie in den Kurven um das Mafs des Kurven-Widerstandes, so ist die zur Ersteigung einer gegebenen Höhe erforderliche Länge der Trafse unabhängig von den Krümmungshalbmessern. Die Länge der Trafse wird, wenn die Centriwinkelsumme aller Kurven in Bogenmafs $= \alpha$ ist, um $\frac{\alpha}{s}$ Meter gröfser oder, wenn die Centriwinkelsumme α Grad beträgt, um $0{,}000018 \frac{\alpha}{s}$ Kilometer gröfser. Die Krümmungshalbmesser der Kurven wird man daher lediglich

so zu wählen haben, dafs die Summe der Zinsen des Anlagekapitals der Bahn und der Abnutzung der Schienen und Radreifen am kleinsten wird.

Es hat aber für die Trafsirung wie für den Betrieb Unbequemlichkeiten, am Anfange und Ende jeder Kurve Gefällwechsel zu haben, was dahin führt, dafs man oft in den flacheren Kurven das Neigungsverhältnifs der geraden Linie unverändert durchführt. Zur Bestimmung der mafsgebenden Steigung ist in diesem Falle der Widerstand der schärfsten Kurven, in welchen das Steigungsverhältnifs der geraden Linie noch unverändert durchgeführt wird, dem Steigungsverhältnifse hinzuzufügen. Der hierbei in Rechnung kommende Krümmungshalbmesser werde der Normalradius oder der mafsgebende Krümmungshalbmesser genannt. In den Kurven von kleinerem Halbmesser findet dann nur eine Ermäfsigung des Steigungsverhältnifses um den Unterschied des Widerstandes in der betreffenden Kurve und in Kurven vom mafsgebenden Krümmungshalbmesser statt. Wäre z. B. eine Steigung von 0,025 noch in Kurven von 500 m Halbmesser durchgeführt, deren Widerstand $c = \frac{1}{500} = 0{,}002$ ist, so wäre die mafsgebende Steigung $s = 0{,}025 + 0{,}002 = 0{,}027$. In schärferen Kurven, z. B. von 400 m Halbmesser, wäre die Steigung dann auf $0{,}027 - \frac{1}{400} = 0{,}0245$ und in Kurven von 300 m auf $0{,}027 - \frac{1}{300} = 0{,}0237$ zu ermäfsigen.

Der Vortheil einer Verminderung der Zahl der Gefällwechsel, welcher durch Annahme eines Normalradius erreicht wird, mufs aber unverhältnifsmäfsig theuer erkauft werden.

Kann die Trafse ohne künstliche Längen-Entwicklung durchgeführt werden, so hat die Feststellung eines Normal-

radius von r_0 Metern die Erhöhung der maſsgebenden Steigung um $\frac{1}{r_0}$ zur Folge, also nach den für die Betriebskosten in § 13 entwickelten Formeln für T Tonnen-Nutzlast und P Personen im Jahre für jeden Km der Strecke eine Vermehrung der Betriebskosten um:

$$V = \frac{1}{100}\left(29^1/_3\ T + 10^2/_3\ P\right) \cdot \frac{1}{r_0}\ \text{Mark.}$$

Beispielsweise also für $T = 400\,000$, $P = 300\,000$ und $r_0 = 500$ von rund 300 Mark für jeden Km.

Noch kostspieliger wird die Annahme eines Normalradius, wenn eine gegebene Höhe h durch künstliche Längen-Entwicklung erstiegen werden muſs.

Wird die stärkste Steigung s_1 noch in dem Normalradius r_0 durchgeführt, so wird die maſsgebende Steigung $s = s_1 + \frac{1}{r_0}$. In den geraden Linien, deren Gesammtlänge l_1 sein mag, wird eine Höhe $h_1 = s_1 l_1$ gewonnen, während man in denselben die maſsgebende Steigung s hätte anwenden und die Höhe $h = s l_1$ hätte ersteigen können. In einer Kurve, deren Halbmesser r_1 gröſser als der Normalradius r_0 ist und deren Centriwinkel in Geraden α_1 beträgt, wird die Höhe $h_{II} = 0{,}000018\ \alpha_1 r_1 s_1$ Km erstiegen, während man die Steigung $s - \frac{1}{r_1}$ anwenden und eine Höhe $h_{III} = 0{,}000018\,\alpha_1 r_1 \left(s - \frac{1}{r_1}\right)$ hätte gewinnen können. Man konnte in dieser Kurve also mehr an Höhe gewinnen $0{,}000018\ \alpha_1 r_1 (s - s_1) - 0{,}000018\ \alpha_1$ also wenn man die Länge dieser Kurve $0{,}000018\ \alpha_1 r_1 = l_{II}$ setzt: $l_{II}\,(s - s_1) - 0{,}000018\ \alpha_1$. In den geraden Linien konnte an Höhe $l_1\,(s - s_1)$ mehr gewonnen werden. Setzt man die Centriwinkelsumme aller

Kurven, welche gröfsere Halbmesser als der Normalradius haben $= \alpha$ und die Länge aller dieser Kurven und aller geraden Linien $= l$, so wäre, wenn man auf die Annahme eines Normalradius verzichtete, eine Mehrhöhe $h_0 = l\,(s - s_1) - 0{,}000018\,\alpha$ erreicht worden. Da es sich um die Ersteigung einer gegebenen Höhe handelt, so hätte also die Entwicklungslänge um ein dieser Mehrhöhe entsprechendes Mafs $\lambda = \frac{h_0}{s}$ also um:

$$\lambda = l\left(1 - \frac{s_1}{s}\right) - 0{,}000018\,\frac{\alpha}{s}$$

verkürzt werden können. Für diese Länge hätten jährlich die Zinsen des Anlagekapitals, die Bahn-Unterhaltungskosten und die von der Steigungshöhe unabhängigen Betriebskosten erspart werden können. Die letzteren betragen für T Tonnen Nutzlast und P Personen in Mark für den Km:

$$\frac{T}{100}\,(0{,}56 + 23^1/_3\,s) + \frac{P}{100}\,(0{,}973 + 10\,^2/_3 s).$$

Im Ganzen hätte demnach, wenn statt Annahme eines Normalradius in allen Kurven die mafsgebende Steigung um das Mafs des Kurvenwiderstandes verringert wäre, erspart werden können:

$$(61.26.)\quad E = \left\{ Ai + U + \frac{T}{100}(0{,}56 + 23^1/_3 s) + \frac{P}{100}(0{,}973 + 10^2/_3 s) \right\} \left\{ l\left(1 - \frac{s_1}{s}\right) - 0{,}000018\,\frac{\alpha}{s} \right\}$$

Sei beispielsweise eine Steigung $s_1 = 0{,}025$ in Kurven von 500 m Halbmesser noch unverändert durchgeführt, also die mafsgebende Steigung $s = 0{,}025 + \frac{1}{500} = 0{,}27$, wäre die Gesammtlänge der geraden Strecken und aller Kurven mit gröfserem Halbmesser als 500 m $l = 15$ Km, die Centriwinkelsumme dieser Kurve 400°, der Verkehr gleich 400000 T Nutzlast und 300000 Personen, das kilometrische Anlagekapital $A = 300000$ Mk., die kilometrischen Unterhaltungs-

kosten der Bahn $U = 3000$ Mk. und der Zinsfuſs $i = 0{,}04$, so würde nach Gl. 26 folgen:

$$E = 19884 \text{ Mark.}$$

Gestützt auf diese Rechnungen kann gewiſs mit Recht behauptet werden, daſs die Annahme eines Normalradius fehlerhaft ist, daſs vielmehr die für die gerade Linie festgesetzte gröſseste Steigung in den Kurven um das Maſs des Kurvenwiderstandes ermäſsigt werden sollte.

Allerdings muſs hierzu bemerkt werden, daſs für sehr flache Kurven die Rechnungen nicht mehr ganz zutreffend sind, da bei diesen der Kurven-Widerstand durch den Koeffizienten $\frac{1}{r}$ zu groſs bemesssen wird. Bei Kurven von mehr als 1000 bis 1200 m Halbmesser ist die Erhöhung des Zugwiderstandes kaum noch bemerkbar, so daſs diese und alle noch flacheren Kurven in den Rechnungen als gerade Linien betrachtet werden können.

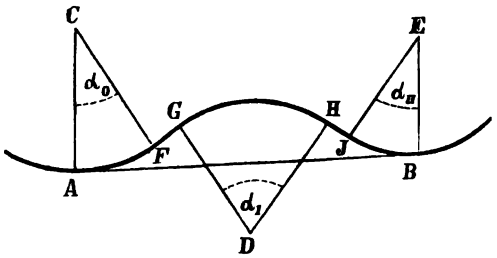
Kurven sind überhaupt so viel als möglich zu vermeiden und müssen stets durch eine genügende Verminderung der Anlagekosten gerechtfertigt sein.

In Strecken mit künstlicher Längen-Entwicklung kommt als Nachtheil der Kurven, auſser der zahlenmäſsig nicht genau festzustellenden erhöhten Abnutzung der Schienen und Radreifen, die Erhöhung des Zugwiderstandes und also auch der Betriebskosten in Betracht. Kann durch einen schlankeren Linienzug der Centriwinkel einer Kurve um α Grad, die Länge der Kurve also bei r Meter Halbmesser um $0{,}000018\ \alpha r$ Km verringert werden, so wird für den Uebergang einer Tonne Last an Arbeit $0{,}000018\ \alpha r \cdot \frac{1}{r} = 0{,}000018\ \alpha$ Tonnen-Kilometer Arbeit erspart. Da die Lokomotivkosten für die Leistung eines

Tonnen-Kilometers Arbeit $^1/_4$ Mark betragen, so ist die Ersparung an Betriebskosten $= 0{,}0000045\ \alpha$ Mark. Diese Ersparung tritt in Strecken mit schädlicher Steigung, wie sie ausschliefslich in Linien mit künstlicher Längen-Entwicklung vorkommen, nur bei der Bergfahrt ein, ist also im Durchschnitt für den Verkehr in beiden Richtungen $= 0{,}00000225\ \alpha$ Mark für die Tonne. Für den Uebergang von einer Million Tonnen Last, wobei das Lokomotivgewicht mit zu rechnen ist, entsteht also bei Verkleinerung der Centriwinkelsumme der Kurven um α Grad eine Betriebskosten-Ersparung von jährlich $2{,}25\ \alpha$ Mark.

Bei Bahnen, welche ohne künstliche Längen-Entwicklung trafsirt sind, kommt bei Vermeidung einer Kurve aufser der Verminderung des Zugwiderstandes auch noch die Verkürzung der Linie in Betracht. Vergleicht man die gerade Linie AB (Fig. 10) von der Länge l_1 mit der gekrümmten Linie $AFGHJB$,

Fig. 10.



deren Länge l_{II} um λ gröfser als die Gerade AB sein möge, so kommt zunächst die nach Gl. 24 zu berechnende Ersparung an Unterhaltungskosten und an den, vom Kurvenwiderstande und von der Ansteigung unabhängigen Betriebskosten in Betracht, sodann aber die Vermeidung der Kurven AF, GH und JB, deren Centriwinkelsumme $\alpha_0 + \alpha_I + \alpha_{II} = \alpha$ sei. Ist diese Centriwinkelsumme in Graden gegeben, so ist der Kurvenwiderstand in Tonnen-Kilometern für eine Gesammtrohlast von Q

Tonnen gleich 0,000018 α Q. Da die Leistung eines Tonnen-Kilometers Arbeit durch die Lokomotive $^1/_4$ Mark kostet, so wird also durch die Vermeidung der Kurven ein Kostenbetrag 0,0000045 α Q Mark gespart.

Liegt die Strecke in unschädlicher Steigung, so tritt diese Ersparung für den Verkehr in beiden Richtungen ein, dagegen für Strecken in schädlicher Steigung nur bei der Bergfahrt, so dafs nur die Hälfte in Ansatz zu bringen ist.

Die Gesammtersparung an Unterhaltungs- und Betriebskosten, welche durch Vermeidung der Kurven erreicht wird, ist also:

$$\text{(Gl. 27.)}\quad E = \lambda \left\{ U + \frac{T}{100}(0{,}56 + 23^1/_3 s) + \frac{P}{100}(0{,}973 + 10^2/_3 s) \right\} + 0{,}0000045\,\alpha\,Q$$

wobei für den Fall, dafs das Steigungsverhältnifs der Strecke ein schädliches ist, das letzte Glied nur zur Hälfte zu rechnen ist.

Wäre beispielsweise $s = 0{,}0027$, $T = 400\,000$, $P = 300\,000$, Q einschliefslich des Lokomotivgewichts $= 2\,200\,000$, $u = 3000$, $\lambda = 0{,}03$ Km, $\alpha = 100^0$, so folgte $E = 841$ Mark. Der schlankere Linienzug würde also noch gerechtfertigt sein, wenn die Anlagekosten zur Durchführung derselben selbst um $\frac{841}{0{,}04}$ $= 21\,000$ Mark höher würden.

§ 22.

Die Höhenlage der Trafse.

Für die Feststellung der Höhenlage der Trafse enthalten die „Technischen Vereinbarungen“ die folgenden Bestimmungen, welche auch für Nebenbahnen gelten:

„§ 2. Die gröfsten Längen-Neigungen der Hauptbahnen sollen in der Regel nicht mehr als 1 : 40 betragen. Die Neigungswechsel sind mittelst möglichst schlanker Kurven abzurunden. Zwischen Gegengefällen oder Gegensteigungen von

1 : 200 und darüber soll eine annähernd horizontale Strecke, wenn thunlich von der Länge eines Güterzuges, eingelegt werden."

„§ 9. Die Bahnkrone in Höhe der Schienenunterkante soll, aufser bei Bahnstrecken in eingedeichtem Lande, in der Regel mindestens 600 mm über den bekannten höchsten Wasserstand gelegt werden. Die Sohle der Bahnbettung soll unter allen Umständen eine vollständige Entwässerung erhalten."

„§ 53. Die Bahnhöfe sollen in der Regel in gerader Linie und horizontal, keinenfalls aber, abgesehen von Rangirköpfen nebst Abzweig-, Weichen- und Ablaufgleisen, in einer stärkeren Neigung als 1 : 400 angelegt werden. Die Länge der Bahnhöfe soll mit Rücksicht auf die längsten, die anschliefsenden Strecken befahrenden Züge ausreichend bemessen werden. Da, wo sehr lange Züge mit einander zu kreuzen haben, können die Endweichen auch in gröfsere Neigungen als 1 : 400 gelegt werden."

Für Lokalbahnen ist durch „die Grundzüge für den Bau und Betrieb der Lokalbahnen" vom Jahre 1887 bestimmt:

„§ 2. Die Längsneigungen sollen in der Regel das Mafs von 1 : 40 nicht überschreiten, solche von mehr als 1 : 25 sind zu widerrathen. Die Neigungswechsel sind mittelst Kreisbögen von nicht zu kleinem Halbmesser abzurunden. Wo ohne Schwierigkeiten thunlich, soll dieser Halbmesser mindestens zu 5000 m angenommen, unter 1500 m mit demselben aber in der Regel nicht herabgegangen werden. Nur beim Uebergang in die Stationen sind 1000 m zulässig. Zwischen entgegengesetzt geneigten Bahnstrecken sind wagerechte Strecken erwünscht, aber nicht nothwendig."

„§ 11. Es wird empfohlen, die Bahnkrone in Höhe der Schienenunterkante über die öfters wiederkehrenden Hochwasser zu legen; unbedenklich aber kann derselbe unter

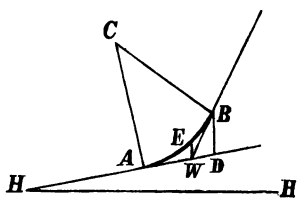
den aufsergewöhnlichen, selten auftretenden Hochwasserständen liegen."

„§ 32. Es empfiehlt sich, die Neigung in den Bahnhöfen mit Ausnahme der Endweichen nicht stärker als 1 : 400 zu nehmen; für kleinere Zwischenbahnhöfe und Haltestellen sind stärkere Neigungen zulässig."

Das Mafs der Längsneigung der Trafse wird entweder in Form eines Stammbruchs oder eines Decimalbruchs oder in Prozenten oder in Millimetern für den lfd. Meter angegeben, so dafs man beispielsweise eine Steigung als $^1/_{40}$ oder 0,025 oder $2^1/_2$ Proz. oder als eine 25 mm-Steigung bezeichnet. Die Trafse wird, wie im Grundrifs, so auch im Längenschnitt als ein geradlinig gebrochener Linienzug entworfen, dessen Knickpunkte nach den angeführten Vorschriften abzurunden sind.

Geht die Steigung s_I (Fig. 11) am Gefällwechsel W in die Steigung s_{II} über, so ist bei einem Halbmesser r der Ausrundungskurve und bei $AW = BW = t$ Tangentenlänge $BD = (s_{II} - s)t$ und $2r \cdot BD = 4t^2$, mithin:

Fig. 11.



$$t = \frac{r}{2}(s_{II} - s_I).$$

Am Winkelpunkte ist das Mafs der Aufhöhung EW genau genug gleich $^1/_4\ BD = {}^1/_4\ (s_{II} - s_I)\ t = \frac{r}{8}(s_{II} - s_I)^2$.

Würde als Halbmesser für die Ausrundung $r = 10\,000$ m angenommen, wäre beispielsweise $s_I = 0{,}005$ und $s_{II} = 0{,}025$, so entstände für die Tangente der Ausrundungskurve die Länge $t = 100$ m und für die Aufhöhung EW am Gefällwechsel 0,5 m.

Bei Annahme eines so grofsen Halbmessers für die Ausrundung der Gefällwechsel und bei so grofsem Unterschiede

in den Steigungsverhältnissen mufs schon bei der Ausführung des Erdbaues die Ausrundung hergestellt werden, wogegen bei weniger schroffen Uebergängen in der Längsneigung selbst bei grofsem Halbmesser die Ausrundung erst bei der Verlegung des Oberbaues vorgenommen werden kann.

Durch kurzen Abstand der Gefällwechsel kann man sich der Bodengestaltung genauer anschmiegen und dadurch die Baukosten verringern, wogegen der Betrieb unbequemer wird, da jeder Gefällwechsel, wenn eine Veränderung der Fahrgeschwindigkeit vermieden werden soll, eine Veränderung der Dampfzulafsung oder der Behandlung der Feuerung oder der Handhabung der Bremsen erforderlich macht. Die in der Regel festzuhaltende geringste Entfernung der Getällwechsel ist daher von der Fahrgeschwindigkeit abhängig, denn die Regelung der Lokomotiv-Zugkraft würde auf einer Lokalbahn mit 5 m Geschwindigkeit bei einem Abstande der Gefällwechsel von 500 m nicht schwieriger sein als auf Bahnen mit 14 m Fahrgeschwindigkeit bei einem Gefällwechselabstande von 1400 m und als auf Bahnen mit Schnellzugverkehr von 20 m Geschwindigkeit bei 2000 m langen Gefälllinien.

Für Gebirgsbahnen glaubte man früher die ununterbrochene Durchführung der stärksten Steigung mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit auf ein bestimmtes Mafs beschränken zu müssen, welches z. B. auf der Semmeringbahn bei einem Steigungsverhältnifs von 25 mm auf 3160 m festgesetzt war, nach welcher Länge stets eine horizontale oder schwach ansteigende Strecke von etwa 500 m folgen mufste. Jetzt scheut man eine Durchführung steiler Ansteigungen auf gröfsere Längen nicht mehr, obwohl in der Regel schon durch die Einlegung der Bahnhöfe eine Unterbrechung der Steigungslinien eintritt. Auf der Gotthardbahn kommen bei einem Steigungsverhältnifse von 26 mm Stationsentfernungen von 8 bis 9 Km vor.

Die Feststellung der zweckmäfsigsten Höhenlage der Trafse ist unter Beobachtung der durch die „Technischen Vereinbarungen“ gegebenen Vorschriften von verschiedenen Umständen abhängig, von welchen besonders die Rücksichten auf die Kosten des Unterbaues, die Wasserverhältnifse, die Wegeverbindungen, sowie die Rücksichten auf die Bahnhofsanlagen und den Betrieb in Frage kommen.

Die Kosten des Erdbaues werden, wenn auch nicht immer, so doch in der Regel am billigsten, wenn die Abtrags- und Auftragsmassen sich ausgleichen. Fehlte für eine Bahnstrecke, bei welcher die Sohlenfläche sämmtlicher Dammschüttungen D Are und die Oberfläche sämmtlicher Einschnitte E Are beträgt, eine Bodenmasse von Q Kubikmetern, welche daher durch Seitenentnahme gewonnen werden mufs, so liefse sich durch Senkung der Trafse in den Dammstrecken um ein durchschnittliches Mafs von $\frac{Q}{D}$ Centimetern der Seitenentnahme vermeiden und bei der dadurch erreichten Ausgleichung der Auf- und Abtragsmassen eine Kostenersparung um den Betrag jener Seitenentnahme erzielen. Eine solche streckenweise Senkung der Trafse wird aber nicht immer durchzuführen sein. Wollte man die Trafse in ihrer ganzen Länge gleichmäfsig senken, um eine Ausgleichung zwischen Abtrag und Auftrag zu erreichen, so müfste dies um ein Mafs von $x = \frac{Q}{D+E}$ Centimetern geschehen. Wären die Kosten der Seitenentnahme für einen Kbm, einschliefslich der Bodengewinnung und des Grunderwerbs, gleich a, die Kosten des Längentransports, einschliefslich der Bodengewinnung $= b$, so würden durch die Senkung der Trafse um x Centimeter erspart:

$$K = Qa - Exb$$

oder nach Einsetzung des für x ermittelten Werthes:

(Gl. 28.) . . . $K = Q\,(a - \frac{E}{D+E}\,b)$.

Da die Flächen D und E in der Regel ziemlich gleich groſs sein werden, $\frac{E}{D+E}$ also nicht weit von $^1/_2$ abweichen und b fast immer kleiner als $2a$ sein wird, so wird durch die Senkung der Traſse auf ein Maſs, bei welchem eine Ausgleichung des Auf- und Abtrags erreicht wird, in den meisten Fällen eine Ersparung erzielt werden.

Ginge man umgekehrt von einer Höhenlage der Traſse aus, bei welcher Q Kubikmeter Abtragsboden in den Dammschüttungen keine Verwendung finden und daher seitlich abgelagert werden müssen, so würde durch eine Hebung der ganzen Traſse, bei welcher eine Boden-Ausgleichung erreicht wird, eine Ersparung:

$$K_1 = Q\left(a - \frac{D}{D+E}\,b\right)$$

ergiebt.

Mit Ausnahme der seltenen Fälle, in welchen durch die Bodenausgleichung sehr weite Transporte erforderlich werden würden oder in welchen der Abtragsboden theilweise zur Dammschüttung nicht verwendet werden soll, sei es, daſs er sich dazu nicht eignet oder daſs er zweckmäſsiger als Mauersand, Bettungskies, Bruchstein u. s. w. Verwendung findet, oder endlich in den Fällen, wo neben den Dämmen breite und tiefe Gräben als Einfriedigung erwünscht erscheinen, muſs daher die Höhenlage der Traſse der Art festgestellt werden, daſs eine Ausgleichung der Abtrags- und Auftragsmassen stattfindet.

Tiefe Einschnitte werden billiger durch Tunnel ersetzt. Ist die Einschnittstiefe h, die Arbeitsbreite des Einschnitts in Höhe der Bettungssohle b, das Neigungsverhältniſs

der Böschungen 1 : m, der Preis für den kbm Boden Grunderwerb, Gewinnung und Transport zusammengenommen, $= a$, so kostet der laufende Meter des Einschnitts $a\ (b\,h + m\,h^2)$. Dagegen würde ein Tunnel, von welchem der lfde. Meter A und dessen beide Portale zusammen P kosten, bei einer Länge l auf den lfd. Meter eine Ausgabe von $\frac{P}{l} + A$ erfordern. Aus der Gleichstellung beider Kostenbeträge findet man die Grenztiefe, bei welcher ein Tunnel billiger als ein Einschnitt wird, zu:

(Gl. 29.) . $$h = -\frac{b}{2\text{ m}} + \sqrt{\frac{b^2}{4\text{ m}^2} + \frac{P}{a\,m\,l} + \frac{A}{a\,m}}.$$

Wäre für eine zweigleisige Bahn $A = 1200$ Mark, $P = 20000$ Mark, $a = 1$ Mark, $l = 200$ m, $b = 12$ m und $m = 1^1/_2$, so wäre $h = 25{,}7$ m. Der Tunnel müfste bei dieser Einschnittstiefe beginnen, so dafs seine Länge sich erst genau nach der Ermittlung von h ergiebt, also unter Umständen die Rechnung unter Einsetzung des berichtigten Mafses von l wiederholt werden mufs.

Unabhängig von dem Kostenbedarfe führen aber auch Rücksichten auf Sicherung gegen Rutschungen, Lawinen, Wildbäche und Steinstürze zur Herstellung von Tunneln.

Hohe Dämme werden billiger durch Viadukte ersetzt, wobei die Grenzhöhe je nach den örtlichen Verhältnifsen und nach der Ausführungsweise der Viadukte gewöhnlich zwischen 20 und 30 m liegt, bei theurem Grunderwerb aber oft weit niedriger und allgemein bei eingleisigen Bahnen geringer als bei zweigleisigen Bahnen ist. Auch andere, nicht auf den Baukosten beruhenden Gründe können zuweilen Veranlassung zur Ausführung von Viadukten werden, wie z. B. militärische Rücksichten in der Nähe von Festungswerken oder Schönheitsrücksichten innerhalb der Städte.

In Bezug auf die Wasserverhältnifse wird durch die „Technischen Vereinbarungen“ für Hauptbahnen eine Höhenlage der Bahnkrone von mindestens 0,6 m über dem höchsten Wasserstande verlangt, während für Nebenbahnen an diesem Mafse nicht festgehalten, sondern nur verlangt wird, dafs die Bahnkrone nicht tiefer als der höchste Wasserstand liegt. Für Lokalbahnen wird es als genügend erachtet, wenn die Bahnkrone über den gewöhnlich vorkommenden höchsten Wasserständen liegt, so dafs sie von den selten eintretenden aufsergewöhnlichen Hochwassern überfluthet werden darf.

Die diesen Vorschriften entsprechende Höhenlage der Bahn genügt auch für die kleineren Durchläfse, welche als offene Durchläfse, über welchen die Schienen sich frei tragen, nach Bedürfnifs in mehreren Oeffnungen hergestellt werden können. In Nothfällen können die Durchläfse auch als Syphons oder Düker angeordnet werden.

Bei Ueberspannung gröfserer Weiten erfordern die eisernen Brücken eine viel geringere Konstruktionshöhe als steinerne Brücken. Die Träger-Unterkante der eisernen Brücken sollte bei rasch strömenden Gewässern mindestens 1,0 bis 1,5 m über Hochwasser liegen, welches Mafs bei Flüssen mit geringerer Wassergeschwindigkeit auf 0,6 m und bei Kanälen auf 0,5 m, ja in Nothfällen auf 0,3 m ermäfsigt werden kann. Bei schiffbaren Wasserläufen ist, falls die Masten und Schornsteine der Schiffe niedergelegt werden können, eine lichte Höhe von 3 bis 4 m über dem höchsten schiffbaren Wasserstande je nach der Bauart der Schiffe erforderlich. Wo diese Höhenlage der Brücke erhebliche Kosten verursachen würde oder wo ein Niederlegen der Masten und Schornsteine nicht vorgenommen wird, kommt die Ausführung beweglicher Brücken in Frage. Eine lichte Höhe von 30 m genügt für den Durchgang der gröfsten Seeschiffe.

Der Höhenabstand zwischen Schienenoberkante und Trägerunterkante kann bei kleinen Spannweiten, wenn die Schienen unmittelbar auf Querträgern von 0,40 bis 0,45 m Höhe befestigt oder zwischen naheliegende Zwillingsträger gelegt werden, über deren Oberkante sie mit der Kopffläche um 0,04 m hervortreten, auf 0,55 bis 0,60 m beschränkt werden. Selbst für die gröfste Spannweite und bei der gewöhnlichen Befestigung der Schienen auf Querschwellen genügt bei eingleisigen Brücken eine Konstruktionshöhe zwischen Schienenoberkante und Trägerunterkante, von 0,65 m und bei zweigleisigen Brücken von 1,15 m.

Bei steinernen Brücken sollen die Kämpfer der Gewölbe der Regel nach über Hochwasser liegen; bei Halbkreisgewölben wird es aber für zuläfsig gehalten, die Kämpfer bis auf $^1/_6$ der Spannweite unter Hochwasser zu legen. Zur Bestimmung der Höhenlage der Trafse über Hochwasser kommt noch der Höhenabstand zwischen Schienenoberkante und deren äufseren Gewölbscheitel und die Gewölbstärke in Betracht. Jener ist bei Annahme einer Bettungsstärke von 40 cm und bei einer aus zwei Backstein-Flachschichten bestehenden Gewölb-Abdeckung auf mindestens 0,7 m und die Gewölbstärke im Scheitel nach der Formel:

(Gl. 30.) . . $$d = 0{,}25 \text{ m} + \left(0{,}025 + 0{,}0034 \frac{w}{f}\right) w$$

zu bemessen, worin w die Spannweite und f die Pfeilhöhe des Gewölbes bezeichnet*). Diese für Quader geltende Gewölbstärke ist für Ziegel- oder Bruchsteinmauerwerk etwas gröfser anzunehmen. Unter Pfeilverhältnifse von $^1/_6$ oder höchstens $^1/_8$ sollte man ohne Noth nicht herabgehen, da flachere Pfeilverhältnifse unvortheilhaft starke Widerlager erforderlich machen.

*) Vergl. von Kaven, Kurze Anleitung zum Projektiren von Eisenbahnen, Seite 61. Aachen 1878, Verlag von J. A. Mayer.

Für eine Brücke von 20 m Spannweite und 1/6 Pfeilverhältnifs würde man also 1,16 m Gewölbstärke im Scheitel und vom Hochwasser in Kämpferhöhe bis Schienenoberkante 0,7 + 1,16 + 3,33 = rund 5,2 m Konstruktionshöhe erforderlich haben, während für eine eingleisige eiserne Brücke eine Konstruktionshöhe, zwischen Schienenoberkante und Hochwasser, von 0,65 + 1,0 = 1,65 m genügen würde.

Bei eisernen Bogenbrücken kann man bei knapper Konstruktionshöhe die Unterkante der Querträger in Höhe des inneren Bogenscheitels legen, braucht also zwischen diesem und Schienenoberkante nur einen Abstand von 0,65 m, mufs dagegen den Kämpfer um 0,6 bis 1,0 m über Hochwasser legen, so dafs man im Vergleich mit steinernen Brücken nur wenig an Konstruktionshöhe sparen kann.

Die Rampen, welche man vor Brücken zur Gewinnung der erforderlichen Konstruktionshöhe anordnen mufs, kann man bei eisernen Bogenbrücken wie bei steinernen Brücken bis zum Scheitel der ersten Oeffnung ansteigen lassen, wie dies beispielsweise bei der älteren Bogenbrücke über den Rhein bei Koblenz geschehen ist.

Das für die Brückenrampen anzunehmende Steigungsverhältnifs ist nach § 24 oder in den Nothfällen, wo man eine Anlaufsteigung anwenden mufs, nach § 26 zu bestimmen.

Die Wegeverhältnifse sind im Allgemeinen für die Bestimmung der Höhenlage der Bahn von geringerer Bedeutung als die Wasserverhältnifse, da man oft die Höhenlage der zu kreuzenden Wege durch einen Umbau mit geringeren Kosten ändern kann als eine Aenderung der nach anderen Rücksichten festgelegten Höhenlage der Bahn erfordern würde.

Für Hauptbahnen sind Wege-Uebergänge in Schienenhöhe nur für Wege von geringer Bedeutung zulässig, während

für Lokalbahnen diese billigste Art der Wegekreuzung stets zu erstreben ist.

Für den Fall, dafs zur Ueber- oder Unterführung eines Weges der erforderliche Höhenunterschied zwischen Weg und Bahn nicht vorhanden ist, mufs in Ueberlegung gezogen werden, ob man die geplante Höhenlage der Eisenbahn-Trafse oder die Höhe des vorhandenen Weges ändert. Für den Fall, dafs der Höhenunterschied ein geringer ist, kann sogar noch in Frage kommen, ob man den Weg zweckmäfsiger über- oder unterführt, wobei zu beachten ist, dafs für Bahnen mit normaler Spur nach der vorschriftsmäfsigen Umgrenzung des lichten Raumes eine lichte Höhe von 4,8 m, für Bahnen von 1 m Spurweite 3,75 m und für Bahnen von 0,75 m Spurweite 3,1 m erforderlich ist, wogegen für Wege je nach ihrer Bedeutung zwischen 3 und 5 m lichte Höhe verlangt wird. Liegt der Weg unten, so genügt also ein Höhen-Unterschied von 3,6 bis 5,6 m zwischen Wegoberfläche und Schienenoberkante, wogegen, falls der Weg oben liegt, bei normalspuriger zweigleisiger Bahn 6,0 bis 6,2 m, bei normalspuriger eingleisiger Bahn 5,5 m, bei einer Schmalspurbahn von 1 m Spurweite 4,5 m und bei einer Bahn von nur 0,75 m Spurweite 3,8 m für diesen Höhenunterschied mindestens erforderlich sind.

Das zweckmäfsigste Neigungsverhältnifs der Wegerampen, bei welchen die Summe der Bau- und Betriebskosten des Weges am kleinsten wird, liegt je nach der Gröfse des Verkehrs in der Ebene zwischen 0,025 und 0,012, im Flachlande zwischen 0,030 und 0,015, im Hügellande zwischen 0,035 und 0,020 und im Gebirge zwischen 0,040 und 0,025. In dem Ausnahmefalle, dafs die Wegerampen durch eine künstliche Verlängerung des Strafsenzuges entwickelt werden müfsen, wird das zweckmäfsigste Neigungsverhältnifs gröfser und zwar im Flachlande von 0,020 bis 0,030, im Hügellande von 0,028 bis 0,040

und im Gebirge von 0,034 bis 0,050.*) Die Steigungsverhältnifse der in die Eisenbahntrafse mit Rücksicht auf Wegekreuzungen einzulegenden Rampen sind nach § 24 zu ermitteln. In den meisten Fällen wird der Mehraufwand der Anlage- und Betriebskosten der Eisenbahn, welche in Folge einer solchen Aenderung der Steigungsverhältnifse der Trafse entsteht aber gröfser sein, als der bei einer entsprechenden Aenderung der Höhenlage und Steigungsverhältnifse des zu kreuzenden Weges erwachsende Aufwand an Baukosten und der Mehrbetrag der Betriebskosten auf dem Wege, so dafs in der Regel der Umbau des Weges den Vorzug verdient.

Bei Kreuzung einer zu bauenden Bahn mit einer andern, bereits vorhandenen Eisenbahn, kann häufig auch ein Umbau dieser letzteren von Vortheil sein. Wäre beispielsweise eine eingleisige Bahn von 4 m Kronenbreite über eine bereits vorhandene zweigleisige, in Bodenhöhe liegende Bahn von 10 m Sohlenbreite zu führen und wäre auf Grund des in § 24 angegebenen Rechnungsganges als zweckmäfsigstes Steigungsverhältnifs der in die geplante Bahn einzulegenden Rampen 0,005 gefunden, so würden bei einer Steigungshöhe von 6 m die beiderseitigen Rampen mit $1^1/_2$fachen Böschungen 72000 kbm Bodenmasse erfordern. Würde dagegen die vorhandene Bahn an der Kreuzungsstelle um 2,5 m unter Einlegung von ebenfalls mit 0,005 abfallenden Gefälllinien gesenkt, die überzuführende Bahn also nur um 3,5 m gehoben, so würden die Rampen dieser letzteren nur 18200 kbm Boden erfordern, welcher aus der gleich grofsen Abtragsmasse der zu senkenden Bahn gewonnen wird. Die Kostenermäfsigung ist also so erheblich, nämlich auf ein Viertel, dafs der schwierige

*) Vergleiche Theorie des Trafsirens. Heft III. Technische Trafsirung der Strafsen; oder auch Launhardt: Die Steigungsverhältnifse der Strafsen. Hannover bei Schmorl & von Seefeld. 1880.

Umbau der im Betriebe befindlichen Bahn sich gewifs rechtfertigt.

Die Bahnhofsanlagen sind auf die Höhenlage der Trafse oft von entscheidendem Einflufse, weil die Höhenlage der Bahnhöfe meistens mit Rücksicht auf die Zugangswege innerhalb enger Grenzen fest bestimmt ist. Erwünscht, wenn auch nicht immer durchführbar, ist es, wenn die Bahn in beiden Richtungen vom Bahnhofe aus Gefälle hat, weil dadurch das Anfahren und Anhalten der Züge erleichtert wird.

Im Gebirge ist die Herstellung der Bahnhofshorizontalen sehr kostspielig, so dafs man in der Regel die als zulässig anerkannte Anordnung wählen sollte, nach welcher der Bahnhof in eine Längenneigung von 1 : 400 gelegt wird. Man gewinnt bei einem 400 m langen Bahnhofe bei dieser Längsneigung 1 m Höhe, kann daher in Strecken mit Längenentwicklung bei einem Steigungsverhältnifse s die ganze Linie um $\frac{1}{s}$ Meter kürzer halten, als bei horizontaler Lage des Bahnhofs nöthig sein würde. Für $s = 0{,}025$ giebt dies eine Verkürzung um 40 m und, wenn beispielsweise die Zinsen des Anlagekapitals, die Unterhaltungs- und Betriebskosten für den Km jährlich 25000 Mark betragen, also eine Ersparung von jährlich 1000 Mark, wofür die Längenneigung auf dem Bahnhofe gewifs ertragen werden kann.

Für die Ausrundung der Gefällwechsel an den Ausgängen der Bahnhöfe in stark ansteigenden Strecken mufs man sich, um eine zu grofse Länge dieser Ausrundungen zu vermeiden, mit einem Krümmungshalbmesser von 3000 bis 5000 m begnügen.

Für die Höhenlage der Trafse sind endlich von durchschlagender Bedeutung die Rücksichten auf die Betriebskosten. Es mufs zunächst für jede Bahnlinie nach den

Verkehrsverhältnifsen und der Bodengestaltung die zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung bestimmt werden, worüber die folgenden §§ das Nähere enthalten. Innerhalb der durch die mafsgebende Steigung gegebenen Grenze sind dann die Längsneigungen für die einzelnen Strecken nach den in § 27 entwickelten Regeln festzustellen. In Ausnahmefällen kann für geringe Längen eine die mafsgebende Steigung übertreffende Steigung angewendet werden, welche unter theilweiser Aufzehrung der im Zuge aufgespeicherten lebendigen Kraft als „Anlaufsteigung" überwunden wird.

Die mafsgebende Steigung mufs dagegen in Kurven um das Mafs des Kurvenwiderstandes verringert werden, wie schon in § 21 näher erörtert wurde. Ferner mufs in Tunneln die äufserste Steigung eine Ermäfsigung erfahren, weil der Reibungswiderstand, welchen die Triebräder auf den Schienen finden in den fast immer feuchten Tunneln ungünstiger ist und weil der Zugwiderstand in Folge der Reibung, welchen die durch die Geschwindigkeit des Zuges in Bewegung gesetzte Luft an den Tunnelwänden findet, ein gröfserer ist. Ueber das Mafs dieser Vermehrung des Zugwiderstandes fehlt es, soweit bekannt, bis jetzt an zutreffenden Erfahrungen. Die Ermäfsigung der Steigung sollte mit Rücksicht auf die ungünstigen Reibungswiderstände auf den Schienen im Verhältnifs der Steigung bemessen werden, also auf steileren Strecken erheblicher als auf flacheren Strecken, dagegen in Rücksicht auf den vermehrten Zugwiderstand um so erheblicher angenommen werden als die Fahrgeschwindigkeit ist, also auf flacheren Strecken gröfser als auf steilen Strecken. Es empfiehlt sich daher wohl ein gleichbleibendes Mafs, etwa 2 bis 3 mm auf den lfd. Meter, für alle Fälle als Ermäfsigung der Steigung in Tunneln fest zu setzen.

In kurzen Kurven und in kurzen Tunneln kann die Verringerung des Steigungsverhältnifses unterlassen werden, indem man annimmt, dafs wie bei Anlaufsteigungen der vermehrte Zugwiderstand durch die lebendige Kraft des Zuges überwunden wird.

Eine Verringerung der mafsgebenden Steigung empfiehlt sich auch für solche Strecken, welche regelmäfsigen starken Seitenwinden ausgesetzt sind, wie es bei Ueberschreitung eines Thales vorkommen kann.

§ 23.

Zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung.

Hat die erste vorläufige Feststellung der Trafse nach Grundrifs- und Höhenlage unter thunlichster Berücksichtigung der in den §§ 19 und 22 dafür angegebenen bestimmenden Gründe stattgefunden, so mufs untersucht werden, ob die in der Trafse vorkommende stärkste Steigung beibehalten werden kann.

Zur Entscheidung über diese wichtige Frage scheidet man die sämmtlichen Neigungsstrecken der Trafse in 2 Gruppen, von welchen die erste alle Strecken umfafst, welche unbedenklich als nicht zu steil geschätzt werden, während für die zweite Gruppe diejenigen Strecken verbleiben, welche vielleicht nach der vorzunehmenden Untersuchung als zu steil erscheinen und daher einer Verflachung ihres Neigungsverhältnifses bedürfen.

Man ermittelt dann die Gesammthöhe h, welche durch alle der zweiten Gruppe angehörenden Strecken erstiegen wird, wobei man, da ein gleich grofser Verkehr in beiden Richtungen angenommen wird, sich nicht darum kümmert, in welcher von beiden Richtungen die einzelnen Strecken ansteigen. Wären nun diese Strecken durch künstliche Längen-

entwicklung auf ein Steigungsverhältniſs s zu verflachen, welches zur maſsgebenden Steigung für die ganze Bahnlinie wird, so müſsten sie eine Länge $\frac{h}{s}$ erhalten. Da aber in den Kurven eine Ermäſsigung des Steigungsverhältniſses um die Gröſse des Kurven-Widerstandes $c = \frac{1}{r}$ vorgenommen werden muſs, so verringert sich die in einer Kurve von r Meter Halbmesser und α^0 Centriwinkel, also von 0,000018 αr Kilometer Länge zu gewinnende Höhe um 0,000018 α im Vergleich zu einer gleich langen geraden Strecke. Ist α die Summe der Centriwinkel aller vorkommenden Kurven in Graden, so braucht man zur Erreichung der Höhe h eine Entwicklungslänge $l_1 = \frac{h + 0{,}000018\ \alpha}{s}$ oder wenn man zur Abkürzung $h + 0{,}000018\ \alpha = h_1$ setzt, eine Länge $l_1 = \frac{h_1}{s}$.

Sind die kilometrischen Anlagekosten $= A$, die jährlichen Unterhaltungskosten für den Km $= U$, so sind die Zinsen des Anlagekapitals und die Unterhaltungskosten für die ganze Länge der zu entwickelnden Strecke:

$$K_0 = (Ai + U)\frac{h_1}{s}.$$

Für die Berechnung der Betriebskosten soll eine zu befördernde Person gleich einer Tonne Nutzlast gerechnet werden, wie bei ähnlichen Rechnungen vielfach zu geschehen pflegt und auch zuläſsig erscheint, da die Gröſse des Verkehrs immerhin nur nach Abschätzung bestimmt werden kann. Ist T die anzunehmende Summe der jährlich zu befördernden Tonnen Nutzlast und Personen, b der Ladungskoeffizient, so betragen nach § 10 die Betriebskosten auf der Länge $\frac{h_1}{s}$ mit der maſsgebenden Steigung s:

$$K_1 = f + es + \left\{\frac{^1/_2\,(B_1 + B_0)\,(w + s)}{(z - w - s)\,L}\right\} \frac{b\,T\,h_1}{s}.$$

Für die erste Gruppe der Strecken, welche unverändert nach dem ersten Entwurfe bleiben sollen, kommen die Anlage- und Unterhaltungskosten nicht in Betracht, wohl aber die Betriebskosten, da diese von der zu suchenden Gröfse der mafsgebenden Steigung abhängig sind. Bestimmt man für die Strecken dieser ersten Gruppe von der Gesammtlänge l nach § 11 die gleichwerthige Steigung s_{II}, so sind die Betriebskosten auf denselben:

$$K_{II} = \left\{f + es + \frac{B_0\,(w + s)}{(z - w - s)\,L} + \frac{^1/_2\,(B_1 - B_0)\,(w + s_{II})}{(z - w - s)\,L}\right\} b\,T\,l.$$

Die ganze Summe der von der Gröfse der mafsgebenden Steigung s abhängigen Bau- und Betriebskosten $K = K_0 + K_I + K_{II}$ ist daher, wenn $\frac{l}{h_1} = m$ gesetzt wird:

$$K = \frac{h_1\,b\,T}{L}\left\{(Ai + U)\frac{L}{b\,T}\cdot\frac{1}{s} + \frac{fL}{s} + \frac{^1/_2\,(B_1 + B_0)\,(w + s)}{(z - w - s)\,s}\right.$$

$$\left. + emLs + \frac{mB_0(w+s) + \frac{m}{2}(B_1 - B_0)(w + s_{II})}{z - w - s}\right\} + h_1\,bT(e + mf).$$

Setzt man zur Abkürzung:

$$(Ai + U + fbT)\frac{L}{bT} = J$$

und ordnet nach Potenzen von s, so folgt:

$$K = \frac{h_1\,b\,T}{L}\left\{J(z - w) + {}^1/_2\,(B_1 + B_0)\,w + [{}^1/_2\,(B_1 + B_0) - J\right.$$

$$+ \frac{m}{2}(B_1 + B_0)\,w + \frac{m}{2}(B_1 - B_0)s_{II}]s + [mB_0 + emL(z - w)]s^2$$

$$\left. - emLs^3\right\}\frac{1}{(z - w)\,s - s^2} + h_1\,bT\,(e + mf).$$

Vernachläfsigt man das kleine Glied $- \varepsilon m L s^3$ und setzt zur Abkürzung:

$$J(z - w) + \tfrac{1}{2}(B_1 + B_0)\, w = D$$

$$\tfrac{1}{2}(B_1 + B_0) - J + \frac{m}{2}(B_1 + B_0)\, w + \frac{m}{2}(B_1 - B_0)\, s_{II} = E$$

$$m B_0 + \varepsilon m L (z - w) = G$$

so entsteht:

$$K = \frac{h_1 b T}{L}\left\{\frac{D + E s + G s^2}{(z - w) s - s^2}\right\} + h_1 b T (\varepsilon + m f).$$

Differentiirt man diese Gleichung nach s und setzt den Differentialquotienten gleich Null, so erhält man für den günstigsten Werth der mafsgebenden Steigung die Bedingung:

$$s^2 [E + G (z - w)] + 2 D s - D (z - w) = 0$$

woraus, wenn man setzt:

$$E + G (z - w) = N$$

folgt:

$$s = - \frac{D}{N} + \sqrt{\frac{D^2}{N^2} + \frac{D}{N}(z - w)}$$

oder:

$$s = \frac{1}{N}(- D + \sqrt{D [D + N (z - w)]}).$$

Wird ferner $D + N (z - w) = F$ gesetzt, so entsteht:

$$s = \frac{1}{N}(- D + \sqrt{D F}).$$

Bedenkt man, dafs

$$N = \frac{F - D}{z - w}$$

ist, so kann man auch schreiben:

$$s = \frac{(z - w)(- D + \sqrt{D F}}{F - D}$$

oder

$$s = \frac{(z - w)\,(\sqrt{F} - \sqrt{D})\,\sqrt{D}}{(\sqrt{F} - \sqrt{D})\,(\sqrt{D} + \sqrt{F})}$$

also

$$s = \frac{z - w}{1 + \sqrt{\frac{F}{D}}}.$$

Setzt man jetzt schrittweise für die nach und nach eingeführten Abkürzungswerthe die vollen Ausdrücke wieder ein, so entsteht da:

$$F = D + N\,(z - w)$$

und

$$N = E + G\,(z - w)$$

war, zunächst:

$$s = \frac{z - w}{1 + \sqrt{\frac{D + E\,(z - w) + G\,(z - w)^2}{D}}}.$$

Für den Zähler unter dem Wurzelzeichen erhält man durch Zurücksetzung der Ausdrücke für D, E und G:

$$F = J(z - w) + {}^1/_2\,(B_1 + B_0)\,w + {}^1/_2\,(B_1 + B_0)(z - w) - J(z - w)$$
$$+ \frac{m}{2}\,(B_1 + B_0)\,(z - w)\,w + \frac{m}{2}\,(B_1 - B_0)\,(z - w)\,s_{II}$$
$$+ mB_0(z - w)^2 + e\,mL(z - w)^3 = {}^1/_2\,(B_1 + B_0)\,z + B_0\,m\,z\,(z - w)$$
$$+ {}^1/_2\,(B_1 - B_0)\,m\,(z - w)\,(w + s_{II}) + e\,m\,L\,(z - w)^3.$$

Berücksichtigt man, dafs

$$B_1 - B_0 = a\,z\,L$$

ist und setzt man ferner das Mittel ${}^1/_2\,(B_1 + B_0)$ aus den Kosten einer leer laufenden und einer mit voller Zugkraft arbeitenden Lokomotive für den Km $= B$, so entsteht für den Zähler unter dem Wurzelzeichen:

$$F = z\left\{B + m\,(z - w)\,(B_0 + {}^1/_2\,a\,L\,(w + s_{II}) + \frac{e\,L}{z}\,(z - w)^2\right\}.$$

Der Nenner unter dem Wurzelzeichen wird nach Einsetzung des Ausdrucks für D, J und $^1/_2 (B_1 + B_0) = B$:

$$D = Bw + (Ai + U + fbT) \frac{L(z - w)}{bT}.$$

Es läfst sich hierin zur Abkürzung die Anzahl n der Züge einführen, welche auf einer geraden horizontalen Bahn zur Beförderung der Rohlast bT im Jahre abgelassen werden müfsten. Das Gewicht eines Zuges würde sein:

$$Q = \frac{z - w}{w} L$$

also

$$n = \frac{bT}{Q} = \frac{bTw}{(z - w) L}.$$

Setzt man diesen Hülfswerth ein, so wird:

$$D = w \left\{ B + \frac{1}{n} (Ai + U + fbT) \right\}.$$

Durch Einsetzung der für F und D ermittelten Werthe in die für die günstigste Gröfse der mafsgebenden Steigung gefundene Gleichung erhält man nun endlich:

$$(\text{Gl.31.}) \quad s + 1 = \sqrt{\frac{z}{w} \cdot \frac{B + m(z-w)\left\{B_0 + \frac{a}{2} L(w + s_{11}) + \frac{eL}{z}(z-w)^2\right\}}{B + \frac{1}{n} Ai + U + fbT)}}$$

Die Formel zeigt, dafs das Steigungsverhältnifs bei einer Längenentwicklung der Trafse steiler angeordnet werden mufs, wenn die kilometrischen Baukosten $Ai + U$ gröfser sind, dagegen flacher, wenn der Verkehr T und mit demselben die Anzahl der Züge n beträchtlicher ist, was ja auch ohne Weiteres klar ist. Die Formel zeigt ferner, dafs das Steigungsverhältnifs um so flacher gewählt werden mufs, je gröfser m ist, also je länger die mit der Gebirgsrampe gemeinsam be-

triebenen Anschlufsstrecken im Vergleich zu der zu ersteigenden Höhe sind. Es ist auch das leicht begreiflich, weil das Neigungsverhältnifs der entwickelten Linie die mafsgebende Steigung für den Betrieb auf den Anschlufsstrecken ist und die Kosten dieses Betriebes mit der Verkleinerung der mafsgebenden Steigung abnehmen. Nicht ganz so rasch wird man sich davon überzeugen, warum auch, wie die Formel es zeigt, die Ansteigung der entwickelten Linie steiler sein mufs, wenn die Anschlufsstrecken eine gröfsere gleichwerthige Steigung s_{II} haben, da man im ersten Augenblick leicht annehmen wird, dafs man in der entwickelten Linie um so steilere Steigungen geben müfse als in den Anschlufsstrecken bereits starke Neigungen vorkommen. Man mufs aber beachten, dafs die Verminderung der Betriebskosten auf den Anschlufsstrecken, welche in Folge einer Verkleinerung der mafsgebenden Steigung eintritt, um so erheblicher ist, je gröfser diese Betriebskosten schon an und für sich durch die innerhalb der Anschlufsstrecken vorkommenden Steigungen sind. Da die Verminderung der Betriebskosten in Folge einer Verkleinerung der mafsgebenden Steigung also auf Anschlufsstrecken mit grofser gleichwerthigen Steigung beträchtlicher ist als auf solchen mit schwächerer gleichwerthigen Steigung, so ist im ersten Fall eine kleinere Abmessung der mafsgebenden Steigung geboten.

Endlich zeigt die Formel, dafs die zweckmäfsigste Neigung um so kleiner ist, je kleiner der zu Grunde gelegte Zugkraftskoeffizient z der Lokomotiven ist. Dies ist der einzigste Werth, über welchen in einem gegebenen Falle, wo die Höhe der Baukosten, die Gröfse des Verkehrs, die Länge der Anschlufsstrecken und deren gleichwerthige Steigung bestimmt sind, noch freie Verfügung verbleibt. Mit der Vergröfserung des Zugkraftskoeffizienten, wodurch der zweckmäfsigste Werth des Neigungsverhältnifses gröfser wird, vermindern sich die Ge-

sammtverkehrskosten, also die Summe der Zinsen des Anlagekapitals, der Unterhaltungs- und der Betriebskosten. Man wird aber in der Annahme des Zugkraftskoeffizienten über ein bestimmtes günstigstes Mafs nicht hinausgehen dürfen, welches von verschiedenen Umständen abhängt, die in der Formel keine Berücksichtigung finden konnten, wie bereits in § 12 hervorgehoben wurde. Mit der Vergrößerung des Zugkraftskoeffizienten vermindert sich die erreichbare äufserste Fahrgeschwindigkeit, was bei Ueberschreitung einer bestimmten Grenze für den Verkehr unerwünscht wird und wodurch die auf den Km entfallenden Kosten für das Zugbegleitungspersonal und für die Zinsen des Anschaffungskapitals der Betriebsmittel wachsen; auch werden durch die zur Erreichung eines gröfseren Zugkraftskoeffizienten erforderliche Kuppelung von Lokomotivachsen die Reibungswiderstände der Lokomotivtheile und die Unterhaltungskosten derselben gröfser.

Die Bestimmung des zweckmäfsigsten Steigungsverhältnifses kann sonach nur im Zusammenhange mit der Feststellung des für den bestimmten Fall besten Werthes des Zugkraftskoeffizienten getroffen werden.

Die Grösse des Einflusses, welchen die verschiedenen für die Bestimmung des zweckmäfsigsten Werthes der mafsgebenden Steigung in Betracht kommenden Umstände äussern, wird sich am besten durch die Berechnung eines Beispieles bei Zugrundelegung verschiedener Annahmen, erkennen lassen.

Sei beispielsweise zur Ueberschreitung einer Wasserscheide von einer Seite eine Höhe von 200 Meter, von der anderen Seite ein solche von 190 Meter zu ersteigen und kommen in den beiderseitigen Rampen schätzungsweise Kurven von insgesammt 550° Centriwinkel vor, so ist die Gröfse $h_1 = 0{,}2 + 0{,}19 + 0{,}000018 \cdot 550 = 0{,}4$ zu setzen. Führen zu dem Wasserscheiden-Uebergange Anschlufsstrecken, deren gleich-

werthige Steigung $s_{II} = 0{,}006$ und deren Länge $l = 60$ Km ist, so entsteht für die Verhältnifszahl m der Werth $\frac{60}{0{,}4} = 150$.

Die Neubaukosten der Gebirgsstrecken seien zu 320000 Mk. und die jährlichen Unterhaltungskosten derselben zu 3000 Mk. für den Km veranschlagt, so dafs $Ai + U = 320000 \cdot 0{,}04 + 3000 = 15800$ Mk. $= 1580000$ Pfg. ist. Die Summe der zu befördernden Tonnen Güter und Personen werde zu $T = 600000$ und der Ladekoeffizient $b = 2^1/_3$ angenommen, dann ist $bT = 1400000$. Werden dann ferner nach den früheren Ermittlungen $w = 0{,}0036$ gesetzt und $B_0 = 32$, $a = 25$, $e = 2$, $f = 0{,}15$ in Pfennigen, ferner das Lokomotivgewicht zu $L = 60$ Tonnen angenommen, so erhält man das zweckmäfsigste Steigungsverhältnifs für die Ueberschreitung der Wasserscheide nach der entwickelten Formel für:

$z = 0{,}08$ zu $s = 0{,}0200$,
$z = 0{,}09$ zu $s = 0{,}0212$,
$z = 0{,}10$ zu $s = 0{,}0225$,
$z = 0{,}11$ zu $s = 0{,}0239$,
$z = 0{,}12$ zu $s = 0{,}0250$.

Für diese verschiedenen Annahmen des Zugkraftskoeffizienten z erhält man die Gröfse des Zuggewichtes

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L$$

die Zahl der zur Bewältigung der Verkehrsmenge bT im Jahre erforderlichen Züge $= \frac{bT}{Q}$, die Fahrgeschwindigkeit, unter Voraussetzung einer Arbeitsleistung der Lokomotive von 360 Pferdekräften zu $v = \frac{Q, 45}{z}$ Meter in der Secunde, und endlich die Gesammtverkehrskosten nach der folgenden Tabelle, wobei das Anlagekapital für die 60 Km langen Anschluss-

strecken zu 10 Mill. Mark, also die Zinsen dieses Anlagekapitals und die Unterhaltungskosten zu 60.3000 + 0,04.10000000 = 580 000 Mark angesetzt sind.

Tabelle XIII.

Zweckmäfsigstes Steigungsverhältnifs und Gesammt-Verkehrskosten für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten.

Zugkraftskoeffizient z =	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
Zweckmäfsigste Steigung s =	0,0200	0,0212	0,0225	0,0239	0,0250
Gewicht eines Zuges Q =	144	158	170	180	192
Anzahl der jährlichen Züge	9722	8861	8235	7778	7292
Fahrgeschwindigkeit v =	5,63	5,00	4,50	4,09	3,75
Baukosten d. Anschlufsstreck.	580000	580000	580000	580000	580000
Baukosten der Gebirgsrampen	300000	283000	266700	251000	240000
Betriebskosten auf den Anschlufsstrecken	540400	521600	508500	500300	490900
Betriebskosten auf den Gebirgsrampen	249800	233300	220200	209400	200700
Summe der jährlichen Bau- und Betriebskosten . . .	1670200	1617900	1575400	1540700	1511600

Man wird aus den früher angeführten Gründen im vorliegenden Falle mit dem Zugkraftskoeffizienten nicht über 0,09 hinaus oder doch höchstens bis 0,10 gehen dürfen, was noch durch eine Dreikuppler-Lokomotive möglich ist. Wenn auch nach der vorstehenden Tabelle bei einer Vergrößerung des Zugkraftskoeffizienten von 0,10 auf 0,12 an der Summe der Bau- und Betriebskosten noch etwa 4 Prozent gespart werden könnten, so würde doch in Wirklichkeit bei den dann erforderlichen Vierkuppler-Lokomotiven eine Erhöhung der Anschaffungs- und Unterhaltungskosten, ferner eine Vermehrung

der Reibungswiderstände der Maschinentheile und eine Verminderung der Fahrgeschwindigkeit eintreten. In Folge dieser Umstände würden sich Kostenerhöhungen ergeben, welche die berechnete Ersparung von 4 Prozent gewifs übertreffen.

Da es schwierig, ja kaum durchführbar ist, alle bei der Wahl des Zugkraftskoeffizienten in Frage kommenden Verhältnifse in voller Schärfe zu bestimmen und zu berücksichtigen, so wird auch der vortheilhafteste Werth der mafsgebenden Steigung sich nur innerhalb gewifser Grenzen bestimmen lassen, die übrigens nur geringen Spielraum zulassen. In dem beispielsweise berechneten Falle wird man nicht zweifelhaft darüber sein können, dafs der Zugkraftskoeffizient nicht kleiner als 0,09 und nicht gröfser als 0,11 angenommen werden darf, also das zweckmäfsigste Steigungsverhältnifs zwischen 0,021 und 0,024 liegen mufs.

Es ist noch hervorzuheben, dafs es nicht nöthig ist, das gefundene zweckmäfsigste Steigungsverhältnifs allzu ängstlich fest zu halten, da eine Abweichung um 10 Prozent von dieser zweckmäfsigsten Steigung die Gesammtverkehrskosten noch nicht in bemerkenswerther Weise erhöht. Die Zahlenwerthe der folgenden Tabelle zeigen, dafs eine Erhöhung des Steigungsverhältnifses von 0,0225 auf 0,030, also auf das $1^1/_3$ fache, die Gesammtverkehrskosten erst um etwa 2 Prozent, und eine Verflachung der Steigung von 0,0225 auf 0,015 also auf das $^2/_3$ fache diesen Kostenbetrag erst um etwa 5 Prozent steigern würde.

Zur Beurtheilung des Einflufses, welchen die Gröfse des Verkehrs auf den zweckmäfsigsten Werth der mafsgebenden Steigung äufsert, mag die Angabe genügen, dafs, wenn alle andern Verhältnifse die gleichen bleiben, für $T = 400000$, $s = 0{,}0251$, für $T = 600000$, $s = 0{,}0225$ und für $T = 800000$, $s = 0{,}0207$ sein mufs.

Tabelle XIV.

Bau- u. Betriebskosten für die beispielsweise angenommene Bahnlinie, unter Zugrundelegung eines Zugkraftskoeffizienten $\varkappa = 0{,}1$, für verschiedene Gröfsen der mafsgebenden Steigung, in Einheiten von 1000 Mark.

Mafsgebende Steigung	Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten		Betriebskosten auf		Summe der Bau- und Betriebskosten
	der Anschlufslinien	der Gebirgsstrecken	den Anschlufslinien	den Gebirgsstrecken	
0,015	580	422	377	220	1599
0,020	580	317	430	207	1534
0,021	580	302	441	206	1529
0,022	580	288	453	206	1527
0,023	580	275	465	206	1526
0,024	580	264	477	205	1526
0,025	580	253	489	205	1527
0,030	580	211	555	208	1554

Würden, während alle anderen Verhältnifse die gleichen bleiben, die kilometrischen Baukosten der Gebirgsrampen statt 320000 Mark, wie in dem berechneten Beispiele angenommen wurde, nur 200000 Mark betragen, so würde die zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung nicht $s = 0{,}0225$ sondern $s = 0{,}0200$ sein, und falls die kilometrischen Baukosten $= 400000$ Mark wären, sich zu $s = 0{,}0241$ ergeben.

Von unerheblicher Einwirkung ist die Gröfse der gleichwerthigen Steigung der Anschlufsstrecken auf die günstigste mafsgebende Steigung, denn wenn jene gleichwerthige Steigung statt $s_{II} = 0{,}006$ sein sollte $s_{II} = 0{,}008$, so müfste die mafsgebende Steigung $s = 0{,}0223$ statt $s = 0{,}0225$ sein.

Hätte dagegen die gleichwerthige Steigung den geringsten möglichen Werth gleich dem Widerstandskoeffizienten, wie auch bei vollständig horizontaler Lage der Fall wäre, so würde der günstigste Werth der maſsgebenden Steigung $s = 0{,}0229$ statt der, für eine gleichwerthige Steigung $s_{II} = 0{,}006$ berechneten Gröſse $s = 0{,}0225$ sein.

Weit erheblicher ist der Einfluſs der Länge der Anschluſsstrecken. Wäre das Verhältniſs m der Länge der Anschluſsstrecken zu der zu ersteigenden Höhe $= 300$, so müſste die maſsgebende Steigung $s = 0{,}0176$ sein, welche für $m = 150$ zu $s = 0{,}0225$ gefunden wurde. Wäre dagegen m nur gleich 75, so müſste $s = 0{,}0279$ sein und im Grenzfalle für $m = 0$ sogar $s = 0{,}0425$ gewählt werden.

Bei den Rechnungen, welche zu der Formel für den zweckmäſsigsten Werth der maſsgebenden Steigung führten, wurden die kilometrischen Baukosten A als unabhängig von dem Steigungsverhältniſse angenommen, während in Wirklichkeit die Baukosten für die Längeneinheit nicht gleich groſs bei verschiedenen Steigungsverhältniſsen ausfallen. Man wird daher nach Berechnung des günstigsten Steigungsverhältniſses prüfen müssen, ob sich dasselbe auch wirklich mit den im Voraus für die Rechnung angenommenen Baukosten wird durchführen laſsen und wird dann oft mit einem verbesserten Werthe der kilometrischen Anlagekosten die Rechnung wiederholen müssen. Ist dann schlieſslich dasjenige Neigungsverhältniſs gefunden, welches den Baukosten entspricht, so können folgende Fälle vorkommen:

1. Der gefundene zweckmäſsigste Werth der maſsgebenden Steigung ist kleiner als das Steigungsverhältniſs einzelner Strecken der Anschluſslinien. Dann sind diese letzteren Strecken aus der Länge l der Anschluſslinien auszuscheiden und mit der von ihnen erstiegenen Höhe h der Steigungshöhe

der Wasserscheiden-Uebergänge hinzuzufügen. Die Rechnung zur Ermittlung des günstigsten Steigungsverhältnifses wird dann mit der verbesserten kleineren Verhältnifszahl m zu wiederholen sein und zu einem etwas gröfsern Werthe der günstigsten Steigung führen.

2. Die gefundene günstigste Steigung ist steiler als irgend ein auf den Anschlufslinien vorkommendes Steigungsverhältnifs, aber doch so flach, dafs sie für die Ueberschreitung der Wasserscheide nur durch künstliche Längenentwicklung erreichbar ist. Dann ist die Aufgabe gelöst und die Trafse dementsprechend festzulegen.

3. Die gefundene günstigste Steigung weicht so wenig von der allgemeinen Neigung des Thalweges ab, dafs sie durch vermehrte Unterbau-Arbeiten, ohne Längenentwicklung der Linie, durchführbar ist. Dann ist nach § 24 die Untersuchung über die günstigste Gröfse der mafsgebenden Steigung weiter zu führen.

4. Der für das Steigungsverhältnifs ermittelte günstigste Werth ist steiler als die Steigung der zur Untersuchung gezogenen Strecken der Trafse. Falls dann eine Verkürzung dieser Strecken, durch welche sie der günstigsten Steigung sich mehr nähern, nicht möglich ist, sind die flacheren Steigungsverhältnifse natürlich beizubehalten. Es bleibt nach § 24 aber noch zu untersuchen, ob nicht sogar eine weitere Verflachung derselben ohne Vermehrung der Länge vortheilhaft ist.

5. Die Längen der Anschlufsstrecken wie auch die Länge der eigentlichen Gebirgsrampen sind so lang, dafs es rathsam erscheint, die Züge, welche auf den Anschlufslinien verkehren, nicht unverändert auf die Gebirgsstrecken übergehen zu lassen, sondern die ganze Linie in gesonderte Betriebsstrecken zu zerlegen, der Art, dafs die Züge der Anschlufsstrecken auf den Gebirgsrampen getheilt oder mit

Vorspann befördert werden. Dann ist die Untersuchung über die günstigste Gröfse der mafsgebenden Steigung nach § 25 weiter zu führen.

6. Die zu ersteigende Höhe ist so gering, dafs es unzweckmäfsig erscheint, die dabei anzuwendende Steigung als mafsgebende für die ganze übrige Länge der Trafse anzunehmen, sondern dafs es vorzuziehen ist, diese geringe Höhe mit steiler Steigung unter theilweiser Aufzehrung der in den Eisenbahnzügen aufgespeicherten lebendigen Kraft zu ersteigen, sie also als Anlaufsteigung zu betreiben. Dies ist dann nach § 26 zu untersuchen.

§ 24.

Zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung ohne Längen-Entwicklung.

Ist es möglich, die Neigungsverhältnifse einer Bahn festzustellen, ohne dafs an irgend einer Stelle eine Längen-Entwicklung der Trafse vorgenommen wird, bleiben also die Länge der Linie, die Gröfse der zu ersteigenden Höhen und die Kurven unverändert, wie auch die Neigungsverhältnifse angeordnet werden, so bleibt auch die Gröfse der gleichwerthigen Steigung unverändert.

Bei Ermittlung des günstigsten Werthes der mafsgebenden Steigung kann man in diesem Falle die in § 13 angegebenen einfachen Formeln für die Betriebskosten benutzen, wonach bei einer mafsgebenden Steigung s, einer gleichwerthigen Steigung s_{11}, einer Länge der Trafse l und für einen Verkehr von P Personen und T Tonnen Nutzlast die Betriebskosten in Pfennigen sind:

(Gl.32.) $K = P(0{,}967 + 10^{2}/_{3} s + 29^{1}/_{3} s_{11}) l + T(0{,}56 + 23^{1}/_{3} s + 39^{2}/_{3} s_{11}) l.$

Diese einfache Formel für die Betriebskosten konnte bei den Untersuchungen des vorhergehenden § über die günstigste Steigung bei Längen-Entwicklung der Trafse nicht benutzt werden, weil sie unter der Voraussetzung abgeleitet ist, dafs der Zugkraftskoeffizient $z = 0{,}05 + 2\,s$ für die Güterzüge und $z = 0{,}02 + 2\,s$ für die Personenzüge ist, welche nur bis zu einem Steigungsverhältnifse $s = 0{,}025$ oder höchstens bis zu 0,030 zutreffend ist. Bei dem hier zu untersuchenden Falle, wo der zweckmäfsigste Werth der mafsgebenden Steigung ohne Längenentwicklung erreicht wird, bleibt man stets weit unter jener Grenze, während derselbe in dem Falle, wo eine Längenentwicklung der Trafse angenommen wird, bei Festhaltung dieses Verhältnifses zwischen dem Zugkraftskoeffizienten und der mafsgebenden Steigung leicht überschritten werden könnte. Es war daher geboten, die allgemeinen Untersuchungen des vorhergehenden § ohne Voraussetzung einer solchen Beziehung des Zugkraftskoeffizienten durchzuführen.

Im vorliegenden Falle ist der von der Gröfse der mafsgebenden Steigung abhängige Theil der Betriebskosten.

(Gl. 33.) . . $K_1 = (10^2/_3\,P + 23^1/_3\,T)\,sl.$

Meistens wird man, unter Benutzung dieser Formel, die zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung nur durch Versuchsrechnungen finden können, indem man für eine Reihe von Werthen der mafsgebenden Steigung die Baukosten bestimmt und diesen von s abhängigen Theil der Betriebskosten hinzufügt.

Nur in einzelnen Fällen wird es möglich sein, die Baukosten allgemein als Funktion von s darzustellen und den günstigsten Werth von s unmittelbar durch Differentiation zu bestimmen.

Wäre z. B. eine eingleisige Lokalbahn über eine vorhandene Bahn in 6 m Höhe zu überführen, so würde bei

5 m Kronenbreite und bei $1^1/_2$fachen Böschungen der Querschnitt der Rampe am höchsten Punkte 84 qm, in der Mitte 28,5 qm, also durchschnittlich $= \frac{1}{6}(84 + 4 \cdot 28{,}5 + 0)$ $= 33$ qm sein. Bei einem Steigungsverhältnifse s wäre die Länge der beiderseitigen Rampen zusammen $= \frac{12}{s}$, mithin der kubische Inhalt derselben $= \frac{396}{s}$ Kubikmeter und bei einem Kostenbetrage von 1 Mark für den kbm die Summe der Erdbaukosten $= \frac{396}{s}$ Mark, was bei einem Zinsfufse von 4 Prozent einem Jahresbetrage von rund $\frac{16}{s}$ Mark gleichkommt.

Wäre der Jahresverkehr auf der 25 Km langen Bahn $T = 80\,000$ und $P = 30\,000$, so wären die von s abhängigen Betriebskosten:

$$K_1 = (10^2/_3 \cdot 30\,000 + 23^1/_3 \cdot 80\,000)\frac{25\,s}{100} = 546666\,s \text{ Mark.}$$

Der ganze, von s abhängige Theil der Bau- und Betriebskosten wäre also:

$$S = \frac{16}{s} + 546\,666\,s.$$

Hieraus findet man durch Differentiation nach s den günstigsten Werth der mafsgebenden Steigung zu:

$$s = \sqrt{\frac{16}{546\,666}} = 0{,}0054.$$

Den Rampen ist natürlich nur dann dieses, für die ganze Bahn zur mafsgebenden Steigung werdende Neigungsverhältnifs zu geben, wenn in der übrigen Erstreckung der Linie

kein steileres Neigungsverhältnifs vorkommt. Wäre dagegen das letztere der Fall, so müfste die gleichzeitige Verflachung aller steileren Strecken zugleich mit der Untersuchung des zweckmäfsigsten Neigungsverhältnifses der Rampen in Rechnung gezogen werden.

Begreiflicher Weise wird unter allen Umständen der günstigste Werth der mafsgebenden Steigung, wenn diese ohne Verlängerung der Linie lediglich durch verstärkte Erdarbeiten erreicht wird, weit kleiner als für Trafsen mit künstlicher Längen-Entwicklung.

§ 25.

Zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung bei Vorspanndienst oder bei Theilung der Züge.

Kommen die steilen Steigungen nicht auf verschiedenen getrennten Strecken der Bahn vor, sondern bilden sie einen zusammenhängenden Theil der Linie, so wird man in den meisten Fällen die ganze Linie nicht mit unverändert bleibenden Zügen befahren, weil dies zu flache Steigungen auf der Gebirgsstrecke oder zu schwache Züge auf den anschliefsenden Thalstrecken erforderlich machen würde. Ebenso wenig zweckmäfsig würde es aber sein, den Betrieb am Fufse der Gebirgsstrecke vollständig zu unterbrechen und hier ganz neue Züge zu bilden. Man wird die von den flacheren Thalstrecken kommenden Züge mit möglichst geringer Aenderung ihrer Zusammensetzung über die steilere Gebirgsstrecke zu befördern suchen, indem man sie mit einer einzigen Lokomotive von stärkerer Zugkraft oder mit zwei Lokomotiven oder auch, was im Grunde auf dasselbe hinauskommt, in zwei oder drei getrennten Theilen mit je einer Lokomotive über die Gebirgsstrecke schafft.

Bei den hierbei vorzunehmenden Rechnungen wird man annehmen können, dafs bei Verwendung schwererer Lokomotiven der von der Zugkraftsleistung unabhängige Theil B_0 der Kosten eines Lokomotiv-Kilometers proportional dem Lokomotivgewichte wächst, so dafs z. B. dieser Betrag B_0, welcher für ein Lokomotivgewicht (einschl. des Tenders) von 60 Tonnen zu 32 Pfg. ermittelt wurde, für eine Lokomotive von 72 Tonnen auf $1{,}2 \cdot 32 = 38{,}4$ wächst. Es rechtfertigt sich diese Annahme wegen des höhern Anschaffungspreises, der höhern Unterhaltungskosten und der stärkeren Schienenabnutzung, sowie wegen der gröfsern persönlichen Ausgaben, welche in Folge der langsamern Fahrgeschwindigkeit dieser schweren Lokomotiven auf den Kilometer entfallen. Es wird daher, wie schon am Schlufse des § 13 hervorgehoben wurde, ein Zug von $Q_1 = 150$ Tonnen Gewicht, welcher von einer Lokomotive von $L_1 = 72$ Tonnen Gewicht befördert wird, 1,2 mal so theuer sein als ein Zug von $Q = 125$ Tonnen mit einer Lokomotive von $L = 60$ Tonnen Gewicht. Um stets mit dem gleicken Lokomotivgewichte $L = 60$ Tonnen und dem gleichen Werthe $B_0 = 32$ Pfg. rechnen zu können, soll mithin das wirkliche Gewicht Q_1 der auf den Gebirgsstrecken mit Lokomotiven von L_1 Gewicht beförderten Züge stets auf ein Gewicht Q berechnet werden, welches auf ein Lokomotivgewicht $L = 60$ Tonnen entfallen würde. Würden beispielsweise auf der Gebirgsstrecke Züge von $Q_1 = 300$ Tonnen Gewicht durch zwei Lokomotiven von je 72 Tonnen Gewicht befördert, so würden statt eines solchen Zuges je 2,4 Züge von je $Q = 125$ Tonnen und mit einer Lokomotive von $L = 60$ Tonnen Gewicht in Rechnung gestellt werden. Die auf den Anschlufsstrecken von einer Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht beförderte Zuglast wird dann als ein Vielfaches tQ in Rechnung gestellt, so dafs also für den Fall, dafs der erwähnte

Zug von 300 Tonnen auf den Anschlufsstrecken durch eine Lokomotive von 60 Tonnen fortgeschafft wird, die Verhältnifszahl $t = 2{,}4$ wäre.

Die Ausscheidung der gesondert betriebenen Gebirgsstrecke läfst sish nicht immer der Art vornehmen, dafs innerhalb derselben durchweg die mafsgebende Steigung s vorkommt, sondern es werden neben der entwickelten Linie, durch welche mit der Steigung s die Höhe h_1 erstiegen wird, auch noch flacher geneigte Strecken von der Gesammtlänge l und mit der gleichwerthigen Steigung s_{II} vorkommen.

Zur Ermittlung des günstigsten Werths der mafsgebenden Steigung sind dann, wie in § 23, die Bau- und Unterhaltungskosten der entwickelten Linie:

$$K_0 = (Ai + U)\frac{h_1}{s}$$

sowie die Betriebskosten der ganzen Gebirgsstrecke:

$$K_1 = \left\{ f + \varepsilon s + \frac{1/2\ (B_1 + B_0)\ (w + s)}{(z - w - s)\ L} \right\} \frac{bTh_1}{s}$$

und

$$K_{II} = \left\{ f + \varepsilon s + \frac{B_0\ (w + s) + 1/2\ (B_1 - B_0)\ (w + s_{II})}{(z - w - s)\ L} \right\} bTl$$

zu bestimmen und hierzu die Betriebskosten der Anschlufslinie, welche mit einem Zuggewichte tQ befahren werden, zu addiren. Ist die Länge dieser letzteren Strecken l_1 und ihre gleichwerthige Steigung s_1 und die auf ihnen vorkommende gröfste Steigung s_{III}, so sind diese Betriebskosten:

$$K_{III} = \left\{ f + \varepsilon s_{III} + \frac{B_0 + \frac{a}{2}\ (tQ + L)\ (w + s_1)}{tQ} \right\} bTl_1$$

oder da:

$$Q = \frac{(z - w - s)\,L}{w + s}$$

ist:

$$K_{III} = f + e s_{III} + \frac{B_0\,(w + s)}{t\,L\,(z - w - s)} + \frac{\frac{1}{2} a z (w - s_I)}{z - w - s}\Big\} b\,T\,l_I.$$

Wird jetzt die Summe der Kosten:

$$K = K_0 + K_I + K_{II} + K_{III}$$

nach Potenzen von s geordnet und nach s differentiirt, werden ferner $\frac{l}{h_I} = m$, $\frac{l_I}{h_I} = m_I$, $\frac{1}{2}(B_I + B_0) = B$, die kilometrischen Lokomotivkosten $B_0 + \frac{1}{2} aL\,(w + s_{II}) = B_{II}$ sowie $B_0 + \frac{1}{2} aL\,(w + s_I) = B_{III}$, und die auf gerader horizontaler Bahn erforderliche Zugkraft $\frac{b\,T\,w}{(z - w)\,L} = n$ gesetzt, so erhält man nach den gleichen Umformungen wie in § 23:

(Gl. 34.)
$$s = \frac{z - w}{1 + \sqrt{\frac{z}{w} \cdot \frac{B + m(z - w)\left\{B_{II} + \frac{eL}{z}(z - w)^2\right\} + \frac{m_I}{t}(z - w) B_{III}}{B + \frac{1}{n}\left(Ai + U + f b T\right)}}}$$

Zur Berechnung eines Beispiels möge die Linie zu Grunde gelegt werden, für deren einheitlichen zusammenhängenden Betrieb in § 23 bei einem Zugkraftskoeffizienten $z = 0{,}1$ als günstigster Werth $s = 0{,}0225$ gefunden wurde. Dabei waren $L = 60$ und $T = 600\,000$ Tonnen, $b = 2\frac{1}{3}$, $w = 0{,}0036$, $s_{II} = 0{,}006$, $i = 0{,}04$, ferner die Kostenbeträge in Pfennigen: $B_0 = 32$, $a = 25$, $B = B_0 + \frac{azL}{2} = 32 + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 0{,}1 \cdot 60 = 107$, $e = 2$, $A = 32\,000\,000$, $U = 300\,000$, $f = 0{,}15$, und endlich die Zugzahl auf horizontaler Bahn:

$$n = \frac{2\frac{1}{3} \cdot 600\,000 \cdot 0{,}0036}{(0{,}1 - 0{,}0036)\,60} = 871.$$

Werden jetzt, statt eines einheitlichen zusammenhängenden Betriebes, auf der Gebirgstrecke die Züge durch zwei Lokomotiven oder in zwei Hälften durch je eine Lokomotive befördert, so wird also die Verhältnifszahl t in der Formel $= 2$. Fallen in die mit zwei Lokomotiven betriebene Gebirgsstrecke 6 Km mit einer gleichwerthigen Steigung $s_{II} = 0{,}006$, so wird, $m = \frac{6}{0{,}4} = 15$ und es verbleibt eine Länge $60 - 6 = 54$ Km, welche mit einer Lokomotive betrieben wird, so dafs also $m_1 = \frac{54}{0{,}4} = 135$ und $s_1 = 0{,}006$ ist.

Man erhält dann als günstigsten Werth der mafsgebenden Steigung:

$$s = 0{,}0287.$$

Die Züge auf der Gebirgsbahn erhalten dann ein Gewicht:

$$Q = \frac{(0{,}1 - 0{,}0036 - 0{,}0287)}{0{,}0036 + 0{,}0287} \cdot 60$$

$= 126$ Tonnen, auf den anschliefsenden Strecken also von 252 Tonnen. Ist das stärkste Steigungsverhältnifs in diesen letzteren Strecken $= 0{,}010$ mit Kurven von 500 m Halbmesser, so ist die erforderliche äufserste Zugkraft $z = (252 + 60)$ $(0{,}010 + 0{,}002 + 0{,}0036) = 4{,}867$ Tonnen.

Würden auf der Gebirgsstrecke aber zwei Lokomotiven von je 72 Tonnen Gewicht zur Fortschaffung eines Zuges verwendet, so würde die Verhältnifszahl $t = \frac{2 \cdot 72}{60} = 2{,}4$ und die günstigste mafsgebende Steigung:

$$s = 0{,}0298.$$

Das Zuggewicht wäre alsdann:

$$tQ = \frac{(0{,}1 - 0{,}0036 - 0{,}0298)}{0{,}0036 + 0{,}0298} \cdot 2 \cdot 72 = 288 \text{ Tonnen}$$

und die gröfste Zugkraft auf den Anschlufsstrecken.

$$Z = (288 + 60)\ (0{,}010 + 0{,}002 + 0{,}0036) = 5{,}429$$

Tonnen, was also noch unter der Leistungsfähigkeit einer Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht mit einem Zugkraftskoeffizienten von 0,1 bleibt.

Nachdem durch diese Rechnungen das günstigste Steigungsverhältnifs für gesonderten Betrieb der Gebirgsstrecke bestimmt ist, mufs untersucht werden, ob überhaupt eine Zerlegung der ganzen Linie in verschiedenen Betriebsstrecken vortheilhaft ist und sodann, welches Mafs der Verstärkung der Zugkraft auf der ausgeschiedenen Gebirgsstrecke sich am meisten empfiehlt.

Für den Fall, dafs auf der Gebirgsstrecke die Züge in zwei Theile zerlegt werden, von welchen jeder durch eine Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht und mit einem Zugkraftskoeffizienten $\varepsilon = 0{,}1$ befördert wird, oder der auf den anschliefsenden Strecken mit einer solchen Lokomotive fortgeschaffte Zug auf der Gebirgsstrecke eine zweite Lokomotive gleicher Art zum Vorspann oder zum Schieben erhält, stellen sich für das in diesem Falle günstigste Steigungsverhältnifs s die Kosten, wie folgt:

1)	Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten der 60 Km langen Strecke mit einer gleichwerthigen Steigung $s_{,,} = 0{,}006$ (nach § 23)	580 000 Mk.
2)	Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten der mit der Steigung $s = 0{,}0287$ entwickelten Linie zur Erreichung der Höhe von 0,4 Km	220 000 „
3)	Betriebskosten auf der letztgenannten Strecke	207 000 „
4)	Betriebskosten auf den 6 Km langen Strecken mit einer gleichwerthigen Steigung $s_{,,} = 0{,}006$, welche im Zusammenhange mit den Gebirgsstrecken betrieben werden	54 000 „
5)	Betriebskosten auf den 54 Km langen Strecken, welche mit einer Lokomotive befahren werden	337 000 „
	zusammen	1 398 000 Mk.

Für den andern Fall, dafs auf der Gebirgsstrecke zur Förderung des Zuges, welcher auf den anschliefsenden Strecken mit einer Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht fortgeschafft wurde, zwei Lokomotiven von 72 Tonnen Gewicht verwendet werden, sind die oben angegebenen Kosten, der Reihe nach, 580 + 201 + 209 + 56 + 336 = 1392 Tausend Mark.

Man wird von den beiden hier in Rechnung gezogenen Betriebsweisen im vorliegenden Falle offenbar der ersten den Vorzug geben müssen, den die im zweiten Falle entstehende geringe Ersparung von jährlich 6000 Mark oder von nicht ganz ½ Prozent wird den in diesen Rechnungen nicht in Rücksicht gezogenen Nachtheil, nicht auszugleichen vermögen, dafs man für die Gebirgsstrecken ganz abweichend konstruirte Lokomotiven wie für die anschliefsenden flachern Strecken braucht und in Folge dessen einen weit gröfseren, kostspieligeren und weniger zur Ausnutzung gelangenden Lokomotiv-Park halten mufs.

Die Ausschaltung der Gebirgsstrecke als gesonderte Betriebsstrecke bietet aber im Vergleich mit dem ungetheilten zusammenhängenden Betriebe der ganzen Linie, wie eine Berücksichtigung der Rechnungen des § 23 zeigt, den sehr erheblichen Vortheil einer Ersparung von 1526 — 1398 = 128 Tausend Mark jährlich. Erfährt dieser Vortheil auch eine Abschwächung durch das Erfordernifs ausgedehnterer Bahnhofsanlagen an beiden Endpunkten der Gebirgsstrecke, durch den längeren Aufenthalt der Züge an diesen Bahnhöfen und durch die auch in diesem Falle erforderliche gröfsere Anzahl der nicht so gut ausnutzbaren Lokomotiven, so verbleibt doch ein sehr beträchtlicher Vortheil übrig:

Uebrigens braucht man auch in diesem Falle an das berechnete günstigste Steigungsverhältnifs sich nicht allzu ängstlich zu halten, da nicht zu weit gehende Ab-

weichungen von demselben die Gesammtkosten nicht erheblich erhöhen.

Die für die zweckmäfsigste Steigung im Vorstehenden gegebene Formel, wie auch die im § 23 für die einheitliche Durchführung des Betriebes entwickelte Formel werden überhaupt nur zur Gewinnung eines Anhaltspunktes zu benutzen sein, da die bei Herleitung dieser Formeln zu Grunde gelegte Voraussetzung, dafs die kilometrischen Anlagekosten für alle Steigungsverhältnifse die gleichen bleiben, in Wirklichkeit nur mehr oder minder annähernd erfüllt wird. Aufserdem ist die Annahme, dafs die Betriebskosten für den Personen-Kilometer gleich denen für den Nutz-Tonnenkilometer seien, ebenfalls nicht ganz zutreffend. Man wird defshalb, nachdem durch die Formel der zweckmäfsigste Werth der mafsgebenden Steigung berechnet ist, mit verschiedenen, dem gefundenen Werthe naheliegenden Steigungsverhältnifsen Entwürfe bearbeiten müssen und für jeden derselben die Baukosten sowie die Betriebskosten für den Güter- und Personenverkehr zu ermitteln haben, um das zweckmäfsigste Steigungsverhältnifs, für welches die Gesammt-Verkehrskosten am kleinsten werden, zu finden.

§ 26.

Anlaufsteigung.

Steile Rampen von geringer Länge, für deren Ueberwindung die Zugkraft der Lokomotive nicht ausreicht, können unter theilweiser Ausnutzung der lebendigen Kraft des Zuges oder, wie man zu sagen pflegt, durch Anlauf erstiegen werden.

Ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Zug am Fufspunkte der Rampe anlangt, $= v_1$ und soll der Zug am oberen Endpunkte der Rampe noch eine Geschwindigkeit $= v_0$ haben, so ist die lebendige Kraft, welche beim Ersteigen der Rampe zur Unterstützung der Lokomotive ausgenutzt werden kann:

$$\beta \frac{(Q + L)}{2g} (v_1^2 - v_0^2)$$

worin β ein Koeffizient ist, durch welchen der Zuwachs in Rechnung gebracht wird, den die der fortschreitenden Bewegung des Zuges entsprechende lebendige Kraft durch die umdrehenden Massen der Räder und Achsen erfährt. Als ziemlich zutreffender Mittelwerth kann $\beta = 1{,}08$ angenommen werden.

Der mit der Verminderung der Geschwindigkeit abnehmende Zugwiderstand auf einer mit dem Steigungsverhältnifse s_1 ansteigenden Rampe ist:

$$(Q + L) (a + b v^2 + s_1)$$

worin nach § 7 Seite 34

$$a = 0{,}00273 \text{ und } b = 0{,}0000131$$

zu setzen ist.

Nach Abzug der von der Lokomotive geleisteten Zugkraft $z L$ bleibt auf eine Länge dl von der lebendigen Kraft des Zuges eine Arbeitsleistung abzugeben.

$$\{(Q + L) (a + b v^2 + s_1) - z L\} \; dl.$$

Da die aufgezehrte lebendige Kraft des Zuges bei einer Verminderung der Geschwindigkeit um dv die Gröfse $\frac{\beta (Q + L)}{g} v dv$ hat, so erhält man die Gleichung:

$$\{(Q + L) (a + b v^2 + s_1) - z L\} \; dl = \frac{\beta (Q + L)}{g} v dv$$

oder

$$dl = \frac{\beta}{g} \frac{v dv}{a + b v^2 + s_1 - \frac{z L}{Q + L}}.$$

Ist die mafsgebende Steigung der Bahn s, so dafs die Gleichung:

$$(Q + L)\,(w + s) = s\,L$$

besteht, so ist auch:

$$dl = \frac{\beta}{g}\,\frac{v\,dv}{a + bv^2 + s_1 - w - s}$$

oder da $w = a + bv_1^2$ ist:

$$dl = \frac{\beta}{g}\cdot\frac{v\,dv}{b\,(v^2 - v_1^2) + s_1 - s}.$$

Hieraus erhält man durch Integration die Länge der Rampe, welche bei einem Steigungsverhältnifse $s_1 > s$ erstiegen werden kann, während die Geschwindigkeit des Zuges von v_1 auf v_0 abnimmt, zu:

(Gl. 35). . $l = \frac{\beta}{2bg}\,\text{tg.}\,nt\,\frac{s_1 - s}{b\,(v_0^2 - v_1^2) + s_1 - s}$.

Setzt man die Gröfse der Beschleunigung der Schwerkraft $g = 9{,}81$ ein, ferner $\beta = 1{,}08$, $b = 0{,}0000131$, $v_1 = 7$ und $v_0 = 3$, so erhält man beispielsweise für eine mafsgebende Steigung $s = 0{,}0036$ die Länge einer Anlaufsteigung von s_1 Steigung zu:

$$l = 4202\ \text{tg.}\,nt\,\frac{s_1 - 0{,}0036}{s_1 - 0{,}004124}.$$

Die folgende Tabelle XV enthält die Längen der Anlaufsteigung für verschiedene Steigungsverhältnifse und für die mafsgebenden Steigungen 0,0036, 0,01 und 0,025.

Tabelle XV.

Mögliche Länge der Anlaufsteigungen.

Steigungsverhältnifse der Anlaufsteigung	Länge der Anlaufsteigung in Met. für eine mafsgebende Steigung =		
	0,0036	0,010	0,025
0,05	48	55	89
0,025	104	149	—
0,010	369	—	—
0,005	1970	—	—

Man kann aber mit einer für den praktischen Gebrauch vollständig befriedigenden Genauigkeit die Länge der Anlaufsteigung in einfacherer Weise berechnen, wenn man auf die Abnahme des Widerstandskoeffizienten mit der sich vermindernden Geschwindigkeit nicht Rücksicht nimmt, sondern den Widerstandskoeffizienten als gleichbleibend betrachtet.

Man erhält dann aus der Gleichung:

$$l\left\{(Q+L)\,(w+s_1)-zL\right\} = \frac{\beta\,(Q+L)}{2\,g}\,(v_1^2-v_0^2)$$

ohne Weiteres:

$$l = \frac{\beta}{2g}\,\frac{v_1^2-v_0^2}{\left(w+s_1-z\,\frac{L}{Q+L}\right)}$$

oder durch Einführung der maſsgebenden Steigung aus der Gleichung $(Q+L)\,(w+s) = zL$ die einfachere Formel:

(Gl. 36) . . . . $$l = \frac{\beta\,(v_1^2-v_0^2)}{2\,g\,(s_1-s)}.$$

Hiernach sind die Werthe der Tabelle XVI berechnet, welche mit den genaueren Werthen der Tabelle XV eine völlig genügende Uebereinstimmung zeigen.

Tabelle XVI.

Mögliche Länge der Anlaufsteigung, nach annähernder Rechnung.

Steigungsverhältnifse der Anlaufsteigung	Länge der Anlaufsteigung in Met. für eine maſsgebende Steigung s =		
	0,0036	0,010	0,025
0,05	47	55	88
0,025	103	147	—
0,010	344	—	—
0,005	1573	—	—

Die durch die Anlaufsteigung erstiegene Höhe $h = l s_1$ ist nach der zuletzt gegebenen einfachen Formel für l gleich:

$$h = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g} \cdot \frac{s_1}{s_1 - s}.$$

Sollte diese Höhe ohne Anlauf also mit der maſsgebenden Steigung s erstiegen werden, so müſste die Rampe eine Länge;

$$l_1 = \frac{h}{s} = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g} \cdot \frac{s_1}{s (s_1 - s)}$$

erhalten. Es läſst sich also durch eine Verlängerung $l_{11} = l_1 - l$ die Anlauframpe in eine maſsgebende Steigung umändern, wofür man erhält:

$$l_{11} = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g (s_1 - s)} - \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2) s_1}{2 g s (s_1 - s)}$$

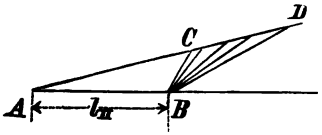
also:

(Gl. 37.) . . . $$l_{11} = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g} \cdot \frac{1}{s}.$$

Das Maſs der Verlängerung, durch welche eine Anlaufsrampe zu der maſsgebenden Steigung umgeändert werden kann, ist also umgekehrt proportional der maſsgebenden Steigung aber sonst das gleiche für alle verschiedenen Steigungsverhältniſse der Anlauframpe.

Trägt man daher dieses Maſs l_{11} vom Fuſspunkte der Anlauframpe B (Fig. 12) von B nach A auf und zieht von A die mit der maſsgebenden Steigung ansteigende Linie ACD, so kann die von B ausgehende Anlauframpe BC oder BD stets nur bis zum Schnitt mit der maſsgebenden Steigung ACD geführt werden.

Fig. 12.



Für die angenommenen Zahlenwerthe $v_1 = 7$, $v_0 = 3$, $\beta = 1{,}08$ und für $g = 9{,}81$ ist:

$$l_{11} = \frac{2{,}2}{s}$$

also ist für $s = 0{,}0036$, $l_{11} = 611$ m, für $s = 0{,}010$, $l_{11} = 220$ m, für $s = 0{,}025$, $l_{11} = 88$ m.

Am Fufspunkte der Anlauframpe wäre in allen Fällen eine Aufhöhung $\beta \frac{(v_1^2 - v_0^2)}{2g}$ erforderlich, wenn statt derselben die mafsgebende Steigung hergestellt werden sollte, also für $v_1 = 7$ m und $v_0 = 3$ m eine Aufhöhung um 2,2 m. Es ist dies die Höhe, um welche das Gewicht des Zuges fallen müfste, um die bei Ersteigung der Anlauframpe verlorene lebendige Kraft wieder zu erhalten.

Der Betrieb einer Anlauframpe kostet, nachdem die beim Ersteigen derselben verlorene lebendige Kraft wieder ersetzt ist, genau den gleichen Dampfverbrauch wie die Erreichung der gleichen Höhe durch die mafsgebende Steigung, ist in dieser Beziehung also nicht nachtheilig. Der Zeitverlust, welchen die Anlauframpen herbeiführen und die Betriebsstörungen, welche durch sie verursacht werden können, falls die Zuggeschwindigkeit und die Unterhaltung des Lokomotivfeuers nicht sorgsam geregelt werden, lassen es als rathsam erscheinen, die Anlauframpen wenn irgend möglich zu vermeiden. Es kommt noch hinzu, dafs steile und daher kurze Anlauframpen kaum die wünschenswerthe Ausrundung in den Gefällwechseln gestatten.

§ 27.

Verlorene Steigung.

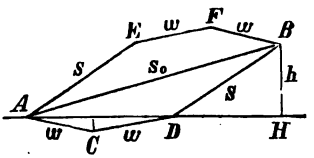
Beim Verkehr auf Strassen verursacht jede Abweichung von der einheitlichen Steigung eine Erhöhung der Betriebskosten*); für den Eisenbahnbetrieb ist dies anders. Es ist

*) Vergl. Theorie des Trafsirens, Heft III. oder auch: Launhardt, Die Steigungsverhältnisse der Strafsen. Hannover, Schmorl u. v. Seefeld. 1880.

zwischen zwei Punkten von beliebigem Höhenunterschiede bei Eisenbahnen nur dann die einheitliche Steigung unter allen Umständen für den Verkehr am günstigsten, wenn diese einheitliche Steigung zugleich die maſsgebende Steigung wird, da der Betrieb um so billiger ist, je kleiner die maſsgebende Steigung ist. Sollen dagegen, während die massgebende Steigung durch andere Strecken der Traſse gegeben ist, zwischen zwei Punkten A und B, welche eine horizontale Entfernung l und einen Höhenabstand h haben, die Steigungsverhältnisse, ohne Berücksichtigung der Kosten des Bahnbaus, lediglich für den Betrieb am günstigsten festgestellt werden, so sind zwei Fälle zu unterscheiden und zwar ob die einheitliche Steigung $\frac{h}{l}$ eine unschädliche, also kleiner als w ist, oder ob sie eine schädliche, mithin grösser als w ist.

Liegt in Fig. 13 der Punkt B in horizontaler Linie AH um l von A entfernt und um h höher, ist ferner die von A nach B geführte einheitliche Steigung $\frac{h}{l} = s_0$ kleiner als w, so ist

Fig. 13.



die zur Fortschaffung eines Zuggewichtes Q von A nach B erforderliche Zugkraftsleistung der Lokomotive auf dieser einheitlichen Steigung für die Bergfahrt:

$$(Q + L)(w + s_0)\, l = (Q + L)(wl + h)$$

Stellt man statt der einheitlichen Steigung AB eine von B mit der maſsgebenden Steigung s bis D um die Höhe h niedergeführte Linie her und ferner von A und D mit dem Neigungsverhältniſse w bis zum Schnittpunkte C fallende Linien, so ist die erforderliche Zugkraftleistung der Lokomotive auf der

gebrochenen Steigungslinie $ACDB$; wenn $DH = l_{\text{I}}$ und $AG = GD = \frac{1}{2} l_{\text{II}}$ gesetzt wird:

auf der Strecke $AC = 0$

auf der Strecke $CD = (Q + L)(\omega + \omega) \frac{1}{2} l_{\text{II}}$

auf der Strecke $DB = (Q + L)(\omega + s) l_{\text{I}}$

mithin, da $l_{\text{I}} + l_{\text{II}} = l$ und $s l_{\text{I}} = h$ ist, im Ganzen $= (Q + L)$ $(\omega l + h)$. Es sind hiernach für die Bergfahrt die Betriebskosten auf der gebrochenen Steigungslinie $ACDB$ genau so gross wie auf der einheitlichen Steigung AB. Die gleichen Kosten würde man auch auf einer Steigungslinie erhalten, welche von A aus mit der maßgebenden Steigung um die Höhe h bis E ansteigt, dann von E auf die halbe Länge der Entfernung CB mit dem Steigungsverhältnisse ω bis F ansteigt und mit demselben Steigungsverhältnisse von F nach B wieder fällt. Auf allen Linienzügen innerhalb des Parallelsechsecks $AEFBDC$, welche in der Richtung von A nach B nirgends ein stärkeres Gefälle als ω und keine stärkere Steigung als s haben, sonst aber irgend welche Form haben können, sind die Betriebskosten auf der Bergfahrt die gleichen wie auf der einheitlichen Steigung.

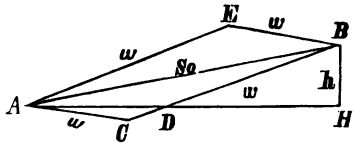
Für die Thalfahrt ist die Sachlage anders. Die Zugkraftsleistung der Lokomotive, welche zur Förderung eines Zuggewichtes Q abwärts in einheitlichem Gefälle von B nach A aufgewendet werden muß, ist $(Q + L)(\omega l - h)$.

Auf einem gebrochenen Linienzuge, welcher von der Linie $ACDB$ in Fig. 13 nur dadurch abweicht, daß die Strecke DB nicht nach der maßgebenden Steigung s sondern nach irgend einer schädlichen Steigung s_{I} angeordnet ist, welche kleiner als s und grösser als ω ist, erfordert die Thalfahrt auf den Strecken BD und DC keine Zugkraft, sondern nur auf der

Strecke AC von der Länge $\frac{1}{2}\,(l - CH = \frac{1}{2}\,(l - \frac{h}{s_1})$ die Zugkraftsleistung:

$$(Q + L)\left(\frac{\omega + \omega)}{2}\right)\left(l - \frac{h}{s_1}\right) = (Q + L)\,(wl - \frac{w\,h}{s_1}).$$

Fig. 14.



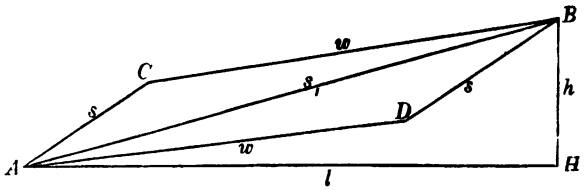
Diese ist nur dann nicht gröfser als auf der Thalfahrt in der Linie BA, wenn $s_1 = \omega$ ist, wie in Fig. 14 dargestellt ist. Dabei tritt also statt der gebrochenen Linie CDB der Fig. 13, in welcher CD die Steigung ω und DB die mafsgebende Steigung s hat, die gerade Linie CDB der Fig. 14, welche die Steigung ω hat. Die gleichen Betriebskosten für die Thalfahrt von B nach A werden auf einer Linie AEB erforderlich, deren beide Schenkel von A und B aus bis zum Schnittpunkte E mit dem Steigungsverhältnisse ω ansteigen. Allgemein sind auf jeden, innerhalb des Parallelogramms $AEBC$ beliebig gezogenem Linienzuge, welcher nur an keiner Stelle kein stärkeres Steigungsverhältnifs als ω, also überall unschädliche Steigungen hat, die Betriebskosten für die Thalfahrt nicht gröfser als auf der einheitlichen Steigung AB.

Mit Rücksicht auf die Thalfahrt schränkt sich das Parallelsechseck, innerhalb dessen die Steigungslinie sich bewegen darf, ohne dafs eine Vermehrung der Betriebskosten entsteht, also ohne dafs eine verlorene Steigung entsteht, auf ein Parallelogramm ein, dessen Seiten nach dem Widerstandskoeffizienten ω geneigt sind.

Für den zweiten Fall, dafs die einheitliche Steigung von A nach B grösser als ω, also eine schädliche Steigung ist, gestalten sich die Verhältnisse anders. Bei der Bergfahrt ist die Zugkraftsleistung wieder in dem in Fig. 13 gezeichneten

Parallelsechseck, dessen Seiten beziehungsweise Steigungsverhältnisse gleich der maſsgebenden Steigung und gleich den Widerstandskoeffizienten haben, für alle Linien, welche in der Richtung von A nach B kein stärkeres Gefälle als ω und keine stärkere Steigung als s haben, gleich $(Q + L)$ $(wl + h)$ wie auf der einheitlichen Steigung von A nach B. Für die Thalfahrt ist dagegen auf der einheitlichen Steigung, auf welcher der Zug ohne Dampf und gebremst abwärts läuft, keine Zugkraft nöthig. Es sind demnach mit Rücksicht auf die Thalfahrt nur solche Linien gleichwerthig mit der einheitlichen Steigung, auf denen nirgends ein Dampfverbrauch stattfindet, welche also nur schädliche Steigungen haben. Alle diese Linien werden durch ein Parallelogramm $ACBD$ (Fig. 15)

Fig. 15.



eingeschlossen, dessen Seiten AC in DB nach der maſsgebenden Steigung und dessen Seiten AD und CB nach dem Widerstandskoeffizienten ω geneigt sind. Alle Linien, welche innerhalb dieses Parallelogramms liegen, stets in derselben Richtung von A nach B mit Steigungsverhältnisen gröſser als ω, aber kleiner als s ansteigen, also durchweg schädliche Steigungen haben, sind im Betriebe nicht theurer als die einheitliche Steigung, haben also keine verlorene Steigung.

Die vorstehenden Untersuchungen lassen sich im folgenden Satz zusammenfaſsen:

Eine Trafse hat auf einer bestimmten Längen-Erstreckung keine verlorene Steigung, wenn in

derselben entweder ausnahmslos unschädliche Steigungen vorkommen, gleichgültig in welcher Richtung sie ansteigen oder wenn in derselben ausnahmslos schädliche Steigungen vorkommen, welche sämmtlich in derselben Richtung ansteigen. Ob der Verkehr in beiden Richtungen gleich groſs ist oder in einer Richtung überwiegt, ist dabei gleichgültig. Nur in dem Falle, welcher im Eisenbahn-Betriebe praktisch nicht vorkommt, daſs der Verkehr nur zu Berg stattfindet, würden die Grenzen, innerhalb deren die Traſse ohne verlorene Steigung angeordnet werden kann, sich noch mehr erweitern.

§ 28.

Die Entfernung der Stationen.

Der im Interesse des Verkehrs erwünschte geringe Abstand der Stationen findet seine Begrenzung durch die Kosten und den Zeitverlust, welche das Anhalten und Wieder-Anfahren der Züge, der Aufenthalt an den Stationen, sowie die Anlage- und Unterhaltungskosten der Stationen verursachen.

Zur Beurtheilung der Frage, ob die Anlage irgend einer bestimmten Station gerechtfertigt ist, muſs man den Verkehrs-Zuwachs kennen, welcher durch die Einrichtung der Station dem Bahnnetze zugeführt wird und die Vermehrung, welche der Betriebsüberschuss dadurch erfährt. Sodann müssen die Anlagekosten und die jährlichen persönlichen und sachlichen Unterhaltungskosten der Stationen und die Kosten für das Anhalten der Züge festgestellt werden. Die letztgenannten Ausgaben, deren Ermittlung zunächst vorgenommen werden soll, setzen sich zusammen aus den Kosten, welche das Bremsen der ankommenden Züge, das Anfahren der abgehenden Züge und der Aufenthalt der Züge an den Stationen erfordert, wobei der Zeit, während welcher der Zug stillsteht, auch der

Zeitverlust beim Einfahren und Ausfahren hinzugerechnet werden mufs.

Die in einem mit der Geschwindigkeit v fahrenden Zuge enthaltene lebendige Kraft ist:

$$M = \frac{\beta}{2g} (Q + L) v^2.$$

Hierin bezeichnet β, wie schon im § 26 erwähnt wurde, einen Koeffizienten, welcher den Zuwachs darstellt, den die von der fortschreitenden Geschwindigkeit herrührende lebendige Kraft durch die in Umlauf befindlichen Massen der Räder und Achsen erfährt und dessen Grösse im Mittel zu 1,08 angenommen werden kann. Werden die Gewichte Q des Zuges und L der Lokomotive in Tonnen, die Geschwindigkeit v in Metern in der Sekunde angegeben und die Beschleunigung der Schwerkraft $g = 9{,}81$ gesetzt, so ist die lebendige Kraft des Zuges:

$$M = 55 (Q + L) v^2.$$

Für einen Güterzug, bei welchem $Q = 350$, $L = 60$ und $v = 7$ ist, erhält man daher rund $M = 1100000$ Meter Kilogramm; für einen Personenzug, bei welchem $Q = 118$, $L = 54$ und $v = 13$ ist, $M =$ rund 1600000, und für einen Schnellzug, bei welchem $Q = 68$, $L = 54$ und $v = 18$ ist, $M =$ rund 2000000 Meter Kilogramm.

Wird ein Zug, welcher mit einer Geschwindigkeit v auf einer Steigung s, aufwärts fährt, durch einen Widerstand u $(Q + L)$ gebremst, so wird, wenn der Widerstandskoeffizient $w = a + bv^2$ gesetzt wird, auf eine Länge dl eine widerstehende Arbeit:

$$dW = (Q + L) (u + s_1 + a + bv^2) dl$$

geleistet, wobei die lebendige Kraft um

$$dM = \frac{\beta}{g} (Q + L) v dv$$

abnimmt. Aus der Gleichsetzung von dW und dM entsteht:

$$dl = \frac{\beta v dv}{g\,(u + s_1 + a + bv^2)}$$

woraus man nach Integration zwischen den Grenzen v und 0 die Länge, auf welche der Zug zum Stillstehen kommt, erhält zu:

(Gl. 38) . . $$l = \frac{\beta}{2gb} \text{ lg. nt. } \frac{u + s_1 + a + bv^2}{u + s_1 + a}.$$

Die Zeit, welche zum Anhalten erforderlich ist, findet man, da $\frac{dl}{v} = dt$ ist, aus der Gleichung:

$$dt = \frac{\beta\, dv}{g\,(u + s_1 + a + bv^2)}$$

durch Integration zwischen den Grenzen v und 0 zu:

(Gl. 39). $$t = \frac{\beta}{g\sqrt{(u + s_1 + a)\,b}} \text{ arc. tg. } v\sqrt{\frac{b}{u + s_1 + a}}.$$

Wird nach § 7 (S. 34) $a = 0{,}00273$ und $b = 0{,}0000131$ gesetzt, so kommt nach den ermittelten Gleichungen 38 und 39 nach Absperrung des Dampfes und ohne Bremsen auf horizontaler Strecke ein Güterzug von 7 m Geschwindigkeit nach einer Zeit von 247 Sekunden und nach einer Fahrlänge von 886 m zum Stillstand, ein Personenzug von 13 m Geschwindigkeit nach einer Zeit von 399 Sekunden und Fahrlänge von 2492 m, ein Schnellzug von 18 m Geschwindigkeit nach einer Zeit von 489 Sekunden und Fahrlänge von 3939 m.

Der Güterzug hätte die Strecke von 886 m mit unveränderter Geschwindigkeit in 127 Sekunden zurückgelegt, so dafs, wenn er ungebremst durch Absperrung des Dampfes zum Anhalten gebracht würde, ein Zeitverlust von 247 — 127 = 120 Sekunden entstände. Bei dem Personenzuge würde dieser Zeitverlust unter gleichen Umständen 207 Sekunden und bei dem Schnellzuge 268 Sekunden betragen.

Bei Güterzügen im Flachlande kann der Bremskoeffizient u zu 0,08 geschätzt werden, wonach auf horizontaler Bahn der Zug auf eine Fahrlänge von 245 m in 72 Sekunden zum Stehen gebracht werden. Für Personen- und Schnellzüge, bei denen sämmtliche Achsen mit Ausnahme der Lokomotiv-Achsen gebremst werden, kann der Bremskoeffizient u die Gröfse von 0,075 erreichen, so dafs ein Personenzug von 13 m Geschwindigkeit auf 118 m Länge in 18 Sekunden und ein Schnellzug von 18 m Geschwindigkeit auf 223 m in 26 Sekunden zum Stehen gebracht werden kann.

Bis zu diesem Mafse wird die Bremswirkung, welche durch Anwendung von Gegendampf sich noch weiter verstärken läfst, aber beim Einfahren in die Stationen der Regel nach nicht gesteigert. Die Fahrlänge, auf welche der Uebergang von der vollen Geschwindigkeit zum Stillstand bewirkt wird, kann im Durchschnitt für Güterzüge zu 400 m, für Personenzüge zu 500 m und für Schnellzüge zu 800 m angenommen werden.

Bei Berechnung der Fahrlänge und der Zeit, welche bei einem bestimmten Bremskoeffizienten zum Anhalten eines Zuges erforderlich ist, braucht man, wenn es sich um praktische Zwecke handelt, keineswegs auf die Abhängigkeit des Widerstandskoeffizienten von der Geschwindigkeit Rücksicht zu nehmen, sondern erhält durch Annahme eines unveränderlichen, der mittleren Geschwindigkeit entsprechenden Widerstandskoeffizienten einen vollständig genügenden Grad der Genauigkeit, in ähnlicher Weise wie bei den Berechnungen der Anlaufsteigung in § 26.

Ist der mittlere Werth des Widerstandskoeffizienten $= w$, so wird bei einem Bremskoeffizienten u auf einer Fahrlänge l eine widerstehende Arbeit

$$W = (Q + L)(u + w + \varepsilon_1)\, l$$

verrichtet, durch welche die lebendige Kraft

$$M = (Q + L)\frac{\beta v^2}{2g}$$

vernichtet werden muſs, so daſs durch Gleichsetzung dieser Gröſsen erhalten wird:

$$l = \frac{\beta v^2}{2g(u + w + s_1)}$$

oder nach Einsetzung von $\beta = 1{,}08$ und $g = 9{,}81$ zu:

(Gl. 40) . . . $$l = \frac{0{,}055\, v^2}{u + w + s_1}.$$

Aus der Gleichsetzung der auf die Länge dl geleisteten widerstehenden Arbeit und des dadurch herbeigeführten Verlustes an lebendiger Kraft folgt

$$(u + w + s_1)\, dl = \frac{\beta v\, dv}{g}$$

oder da $v\,dt = dl$ ist:

$$dt = \frac{\beta\, dv}{g(u + w + s_1)}$$

und hieraus durch Integration zwischen den Grenzen v und 0:

$$t = \frac{\beta v}{g(u + w + s_1)}$$

oder nach Vergleichung mit Gleichung 40:

(Gl. 41) . . . . . $$t = \frac{2l}{v}.$$

Da bei unveränderter Geschwindigkeit die Länge l in der Zeit $\frac{l}{v}$ zurückgelegt sein würde, so ist also die Zeit, welche zum Anhalten des Zuges erforderlich ist, gleich dem Zeitverluste, den das Anhalten verursacht.

Die zum Ingangbringen des Zuges erforderliche Fahrlänge und Zeit berechnet sich, wenn die Lokomotive mit voller Zugkraft $= \varepsilon L$ arbeitet, wie folgt.

Es muſs, während die Wegelänge dl zurückgelegt wird, dem Zuge ein Zuwachs an lebendiger Kraft ertheilt werden, welcher einer Geschwindigkeitszunahme dv entspricht, so daſs sein muſs:

$$\varepsilon L dl = (Q + L)(a + bv^2 + \varepsilon_1)\, dl + \frac{\beta (Q + L)}{g} v\, dv$$

also

$$dl = \frac{\beta (Q + L)}{g} \cdot \frac{v\, dv}{\varepsilon L - (Q + L)(a + bv^2 + \varepsilon_1)}$$

woraus durch Integration zwischen den Grenzen v und 0 erhalten wird:

(Gl. 42) $$l = \frac{\beta}{2gb} \text{ lg. nt. } \frac{\varepsilon L - (Q + L)(a + \varepsilon_1)}{\varepsilon L - (Q + L)(a + bv^2 + \varepsilon_1)}.$$

Die Zeit, welche zum Durchfahren dieser Länge erforderlich ist, folgt aus:

$$dt = \beta \frac{(Q + L)}{g} \frac{dv}{\varepsilon L - (Q + L)(a + bv^2 + \varepsilon_1)}$$

durch Integration zwischen den Grenzen v und 0 zu:

(Gl. 43) . . $$t = \frac{\beta (Q + L)}{2gpq} \text{ lg. nt. } \frac{p + vq}{p - vq}$$

wenn zur Abkürzung $\sqrt{\varepsilon L - (Q + L)(a + \varepsilon_1)} = p$ und $\sqrt{b (Q + L)} = q$ gesetzt wurde.

Für einen Güterzug ist, wenn $Q = 350000$, $L = 60000$, $\varepsilon = 0{,}06$, $g = 9{,}81$, $\beta = 1{,}08$, $a = 0{,}00273$, $b = 0{,}0000131$ und $\varepsilon_1 = 0$ gesetzt wird, die zur Erreichung einer Geschwindigkeit von 7 m erforderliche Zeit gleich 132 Sekunden bei einer Fahrlänge von 472 m. Da diese Länge bei 7 m Geschwindigkeit in 67 Sek. durchfahren werden würde, so ist der Zeitverlust beim Anfahren 132 — 67 = 65 Sek.

Für einen Personenzug, dessen Zuggewicht $Q = 118000$ kg, $L = 54000$ kg und $\varepsilon = 0{,}04$ bei einer Triebachse ist, wird auf horizontaler Strecke die Geschwindigkeit von 13 m in einer Zeit von 157 Sek. und auf eine Länge von 1062 m erreicht und der Zeitverlust beim Anfahren beträgt 75 Sek.

Hätte die Personenzugslokomotive zwei gekoppelte Treibachsen, so dafs der Zugkraftskoeffizient $z = 0{,}06$ zu rechnen wäre, so würde zur Erreichung einer Geschwindigkeit von 13 m nur eine Zeit von 86 Sek. auf 616 m Fahrlänge erforderlich sein.

Für einen Schnellzug, bei welchem $Q = 68000$, $L = 54000$ und $z = 0{,}04$ ist, würde eine Geschwindigkeit von 18 m in 132 Sek. auf 1244 m Fahrlänge erreicht.

Für praktische Zwecke kann man aber wieder die Abhängigkeit des Widerstandskoeffizienten von der Geschwindigkeit vernachlässigen und mit einem mittleren Widerstandskoeffizienten w für die ganze Dauer des Anfahrens rechnen. Man erhält dann aus der Gleichung:

$$z L\, dl = (Q + L)\,(w + s_1)\, dl + \beta \frac{(Q + L)}{g}\, v\, dv$$

die zur Erreichung der Geschwindigkeit v erforderliche Fahrlänge zu:

(Gl. 44.) . . $$l = \frac{\beta}{2g} \cdot \frac{(Q + L)\, v^2}{z L - (Q + L)\,(w + s_1)}$$

und nachdem man $dl = v\, dt$ gesetzt hat, die aufzuwendende Zeit:

$$t = \frac{\beta}{g} \frac{(Q + L)\, v}{z L - (Q + L)\,(w + s_1)}$$

oder

(Gl. 45.) . . . . . $$t = \frac{2 l}{v}.$$

Da die Länge l mit der Endgeschwindigkeit v in der Hälfte dieser Zeit durchfahren werden würde, so ist also auch der Zeitverlust beim Anfahren gleich der dafür erforderlichen Zeit.

Nach den entwickelten Rechnungen wird man im Durchschnitt den Zeitverlust, welcher durch das allmähliche Anhalten

und durch das Wiederanfahren eines Zuges im Vergleich zu der Zeit bei ununterbrochener Fahrt, zu 2 Minuten gerechnet werden können. Rechnet man den Aufenthalt an der Station für Personenzüge zu 1 Minute, für Güterzüge zu 5 Minuten, so ist also der ganze Zeitverlust, welchen das Anlaufen einer Station verursacht, für Personenzüge 3 Minuten und für Güterzüge 7 Minuten.

Zieht man von den in § 4 und 5 abgeleiteten Fahrdienstkosten und Lokomotivkosten B_0 die Ausgaben für Schmieren sowie für Unterhaltung und Erneuerung der Betriebsmittel ab, so bleiben die von der Zeitdauer abhängigen Betriebskosten. Diese findet man dann für den Güterzugskilometer zu 18,7 Pfg. Fahrdienstkosten und zu 23,6 Pfg. Zugförderungskosten, also im Ganzen zu 42,3 Pfg., und für den Personenzugskilometer zu 22,3 Pfg. Fahrdienstkosten und 18,8 Pfg. Zugförderungskosten, im Ganzen also zu 41,1 Pfg.

Die Kosten eines Güterzuges für die Dauer einer Minute sind bei Rechnung von 7 m Geschwindigkeit also $= \frac{42{,}3 \cdot 7 \cdot 60}{1000} = 17{,}8$ Pfg. und für einen Personenzug, wenn man mit Rücksicht darauf, dafs 16 Mill. Zugkilometer in Schnellzügen und 53 Mill. Zugkilometer in gewöhnlichen Personenzügen geleistet wurden und demnach die Geschwindigkeit im Mittel zu 14 m angenommen werden kann, zu $\frac{41{,}4 \cdot 14 \cdot 60}{1000} = 34{,}8$ Pfg.

Da die Kosten für die Leistung von einer Tonne Zugkraft auf einen Kilometer Länge oder von einer Million Meter-Kilogramm Arbeit der Lokomotive zu 25 Pfg. ermittelt wurden, so kostet das Anfahren eines Güterzuges, welcher eine lebendige Kraft von 1,100000 Meter-Kilogramm besitzt, $= 1{,}1 \cdot 25 =$ 27,5 Pfg. und das Anfahren eines Personenzuges, wenn im

Durchschnitt für Schnell- und Personenzüge eine lebendige Kraft von 1,700000 Meter-Kilogramm angenommen wird, 1,7 · 25 = 42,5 Pfg.

Ein Theil der in dem Zuge aufgespeicherten lebendigen Kraft kommt allerdings beim Einlaufen in die Stationen, während der Absperrung des Dampfes, für die Fortbewegung zur Ausnutzung. Es mag aber diese Dampfersparung unberücksichtigt bleiben, indem zur Ausgleichung die Kosten des Bremsens durch Abnutzung der Bremseinrichtungen, der Radreifen und Schienen, ebenfalls unberücksichtigt bleiben.

Es stellen sich hiernach die Kosten für das Anhalten eines Güterzuges auf 27,5 + 7 · 17,8 = 152,1 Pfg. und eines Personenzuges auf 42,5 + 3 · 34,8 = 146,9 Pfg., so dafs man allgemein die Kosten des Anhaltens eines Zuges an einer Station mit 1½ Mark in Rechnung bringen kann.

Man könnte gegen die Ermittlung dieses Betrages den Einwand erheben, dafs wegen der wenigen Minuten Zeitverlust, welche das Anlaufen einer Station verursacht, die Zugbeamten keine erhöhten Bezüge erhalten und die Betriebsmittel also auch die Zinsen des Anschaffungskapitals derselben keine Erhöhung erfahren, dafs also für den Zeitverlust überhaupt keine Kosten in Anrechnung kommen können. Es tritt ja auch keine merkbare Kostenvermehrung ein, wenn eine Person mehr in einen Zug einsteigt; man hat aber nicht den einen Fall, sondern die Summe der Fälle, nicht das Differential, sondern das Integral in Betracht zu ziehen.

Nach Erledigung der vorstehenden Rechnungen läfst sich die Frage, ob die Anlage irgend einer bestimmten Station zweckmäfsig ist oder nicht, in folgender Weise entscheiden.

Betragen beispielsweise für den Bahnhof eines Ortes von 800 Einwohnern die Zinsen des Anlagekapitals und die jähr-

lichen Unterhaltungskosten der sämmtlichen Bahnhofseinrichtungen 2000 Mk., die Besoldungen der Bahnhofsbeamten jährlich 3000 Mk. und halten täglich drei Züge in jeder Richtung an dieser Station, so dafs für das Anhalten der Züge $6 \cdot 365 \cdot 1^1/_2 = 3285$ Mk. zu rechnen sind, dann betragen die Gesammtkosten der Station 8285 Mk.

Es mufs nun erwogen werden, ob der Verkehrszuwachs, welchen die Einrichtung der Station dem gesammten Bahnnetze zuführt, eine solche Ausgabe rechtfertigt. Nach Heft I, § 17, S. 97 liefert im Durchschnitt bei mittlerer wirthschaftlicher Bedeutung der Gegend jede neu in den Eisenbahnverkehr gezogene Person für das gesammte Bahnnetz eine Erhöhung des Betriebsüberschusses von 17,6 Mk. Läfst man den Einflufs des Hinterlandes unberücksichtigt, da ja durch die Einrichtung der in Frage stehenden Station den benachbarten Stationen ein Theil ihres Hinterlandverkehrs entzogen wird, so liefert also die Einrichtung der Station eine Vermehrung des Betriebsüberschufses um $17{,}6 \cdot 800 = 13080$ Mk., also nach Abzug der Kosten der Bahnhofseinrichtung noch von $13080 - 8285 = 4795$ Mk.

Hätte der Ort nur 400 Einwohner und wollte man sich auf die Anlage einer Haltestelle für Personen beschränken, so würden die jährlichen sachlichen und persönlichen Ausgaben für die Haltestelle sich vielleicht auf 1000 Mk. beschränken, wozu die Kosten des Anhaltens von zwei Tageszügen in jeder Richtung mit $4 \cdot 365 \cdot 1^1/_2 = 2190$ Mk. kommen und den ganzen Kostenbetrag auf 3190 Mk. erhöhen. Da im Durchschnitt auf jeden Kopf der Bevölkerung eine Reiselänge von 285 Kilometern im Jahre entfällt und der Betriebsüberschufs für den Personen-Kilometer zu 0,02 Mk. zu rechnen ist, so würde die Anlage der Haltestelle einen Zuwachs des Betriebsüberschusses von $400 \cdot 0{,}02 \cdot 285 = 2280$ Mk. liefern. Die

Anlage dieser Haltestelle würde sich also betriebstechnisch als unvortheilhaft erweisen.

Da aber der gemeinwirthschaftliche Nutzen der Eisenbahnen den Betriebsüberschuss erheblich, nach Heft I vielleicht um das $2^1/_2$fache übertrifft, so wird man auf Staatsbahnen mit der Anlage von Stationen und Haltestellen zu weit geringern Abständen gehen können und müssen als auf Privatbahnen.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dafs für die zur Entscheidung über die Zweckmäfsigkeit der Anlage von Zwischenstationen hier angestellten Rechnungen ein Anspruch auf volle Schärfe nicht erhoben werden kann.

§ 29.

Virtuelle Länge.

Zur Entscheidung einiger Fragen braucht man nicht die absolute Höhe der Betriebskosten zu kennen, sondern es genügt zu wissen, ob die Betriebskosten einer Linie höher oder niedriger als auf einer andern mit ihr in Vergleichung kommenden Linie sind oder welches Vielfache die Betriebskosten einer Linie von denen einer andern Linie sind. Es kommt dies z. B. vor, wenn es sich darum handelt, unter mehreren zwischen zwei Punkten vorhandenen Eisenbahnlinien, diejenige zu bestimmen, auf welcher der Betrieb sich am billigsten stellt, um hiernach die Zuweisung oder Instradirung des Verkehrs vorzunehmen. Auch dann, wenn man die Fracht nicht nach Verhältnifs der zu durchfahrenden Länge, sondern nach Verhältnifs der aufzuwendenden Betriebskosten feststellen will, braucht man nicht die absolute, sondern nur die relative Höhe der Betriebskosten zu kennen.

Für Zwecke solcher Art hat man den Begriff der virtuellen Länge eingeführt.

Es erscheint am nächsten liegend, zur Bestimmung der virtuellen Länge die Betriebskosten auf gerader horizontalen Bahn als Einheit zu wählen; für die in Betracht kommenden praktischen Zwecke ist es aber empfehlenswerther, wie Schübler vorgeschlagen hat, die Betriebskosten auf einer Flachlandbahn, deren maſsgebende Steigung die Grenze der unschädlichen Steigung ist, als Einheit zu wählen. Sind die kilometrischen Betriebskosten für die Einheit auf einer solchen Flachlandbahn, k_1; die Betriebskosten auf einer Strecke von der Länge l, von der Steigung s_1 und bei einem Kurvenwiderstande c für eine maſsgebende Steigung s nach § 10:

$$kl = \{\alpha + \beta s + \gamma (s_1 + c)\}\ l$$

so findet man die virtuelle Länge λ dieser Strecke, das ist diejenige Länge einer Flachlandbahn, welche gleiche Betriebskosten wie die in Rechnung zu ziehende Bahnstrecke haben würde, aus der Gleichung:

$$\lambda k^1 = \{\alpha + \beta s + \gamma (s_1 + c)\}\ l$$

zu

$$\lambda = \left\{\frac{\alpha}{k_1} + \frac{\beta}{k_1} s + \frac{\gamma}{k_1} (s_1 + c)\right\} l$$

oder wenn man $\frac{\alpha}{k_1} = \alpha_1$, $\frac{\beta}{k_1} = \beta_1$ und $\frac{\gamma}{k_1} = \gamma_1$ zu:

$$\lambda = \{\alpha_1 + \beta_1 s + \gamma_1 (s_1 + c)\}\ l.$$

Die virtuelle Länge einer Strecke ist also nicht allein von ihrer Steigung s_1 und dem auf ihr vorkommenden Kurvenwiderstande c sondern auch von der maſsgebenden Steigung s der ganzen Bahnlinie abhängig. Den Klammerausdruck $\alpha_1 + \beta_1 s + \gamma_1 (s_1 + c) = \varphi$ bezeichnet man als virtuellen Koeffizienten.

Nach § 10 wurden die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast zu:

$$k = 0{,}24 + 10\,s + 17\,(s_1 + c)$$

gefunden und für eine Flachlandbahn, auf welcher $s = 0{,}0036$, $s_1 = 0{,}0036$ und $c = 0$ ist, zu $k_1 = 0{,}337$ Pfg. ermittelt. Hiernach ergiebt sich die virtuelle Länge für den Güterverkehr zu:

(Gl. 46) . . . $\lambda = 0{,}71 + 30\,s + 50\,(s_1 + c)$.

Die folgende Tabelle XVII giebt die virtuellen Längen, wie solche durch Theilung der in Tabelle IX angegebenen Betriebskosten durch $k_1 = 0{,}337$ erhalten werden, wobei eine fast genaue Uebereinstimmung mit der Formel 46 sich zeigt.

Tabelle XVII.

Virtuelle Längen für den Güterverkehr.

Mafs-gebende Steigung	unschädliche Steigung	Virtuelle Längen für schädliche Steigung s_1 =			
		0,006	0,010	0,015	0,025
0,0036	1,00	—	—	—	—
0,006	1,09	1,19	—	—	—
0,010	1,22	1,33	1,51	—	—
0,015	1,36	1,48	1,67	1,91	—
0,025	1,60	1,72	1,93	2,19	2,71

Für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge sind die Betriebskosten auf einer Bahn, deren mafsgebende Steigung $s = 0{,}0036$ ist, nach Gleichung 11, in welcher man für s_1 den Grenzwerth der unschädlichen Steigung einsetzen mufs:

$$k_1 = 0{,}725 + 8 \cdot 0{,}0036 + 22 \cdot 0{,}0055 = 0{,}875.$$

Theilt man die Zahlen der Tabelle X durch diese Gröfse, so erhält man die virtuellen Längen für den Personenverkehr nach Tabelle XVIII.

Tabelle XVIII.

Virtuelle Längen für den Personenverkehr.

Maſsgebende Steigung	Virtuelle Längen für unschädliche Steigung	schädliche Steigungen s_1 = 0.010	0,015	0.025
0,0036	1,00	—	—	—
0,006	1,02	—	—	—
0,010	1,08	1,18	—	—
0,015	1,12	1,23	1,35	—
0,025	1,18	1,29	1,42	1,67

Durch Theilung der Gleichung 11 mit den Betriebskosten $k_1 = 0{,}875$, wie sie der Tonnen-Kilometer der Personenzüge auf einer Flachlandbahn erfordert, erhält man die virtuellen Längen für den Personenverkehr zu:

(Gl. 47) . . . $\lambda = 0{,}83 + 9\,s + 25\,(s_1 + c)$

was eine vollständig befriedigende Uebereinstimmung mit den Zahlenwerthen der Tabelle XVIII zeigt.

Man erkennt aus den Tabellen XVII und XVIII, was schon in § 10 hervorgehoben wurde, dafs die Steigungen auf die Betriebskosten beim Personenverkehr von weit geringerem Einflufse sind als beim Güterverkehr. Für den Güterverkehr ist auf Strecken mit unschädlicher Steigung der Betrieb einer Gebirgsbahn von 0,025 maſsgebender Steigung, 1,6 mal so theuer als auf einer Flachlandbahn, für den Personenverkehr dagegen nur 1,18 mal so theuer. Auf einer Steigung von 0,025 sind die Betriebskosten für den Güterverkehr 2,71, dagegen für den Personenverkehr nur 1,67 mal so theuer als auf Flachlandbahnen.

Die Bestimmung der virtuellen Länge einer beliebigen Eisenbahn-Trafse wird sehr einfach, wenn man zunächst nach § 11 die gleichwerthige Steigung s_{11} der Bahn berechnet.

Ständen beispielsweise zwischen zwei Punkten zwei Eisenbahnlinien zur Wahl, von denen die Linie A bei einer Länge von 60 Km. eine maſsgebende Steigung $s = 0{,}015$ und eine gleichwerthige Steigung $s_{11} = 0{,}010$, die Linie B dagegen bei einer Länge von 50 Km., eine maſsgebende Steigung $s = 0{,}025$ und eine gleichwerthige Steigung $s_{11} = 0{,}015$ hätte, so würde für den Güterverkehr nach Tabelle XVII oder auch nach Gleichung 46 für die Linie A die virtuelle Länge $\lambda = 60 \cdot 1{,}67 = 100{,}2$ und für die Linie B gleich $50 \cdot 2{,}19 = 109{,}5$ sein. Für den Personenverkehr würde die virtuelle Länge nach Tabelle XVIII oder auch nach Gleichung 47 für die Linie A zu $\lambda = 60 \cdot 1{,}23 = 73{,}8$ und für die Linie B zu $\lambda = 50 \cdot 1{,}42 = 71{,}0$ gefunden werden. Die Linie A ist demnach für den Güterverkehr billiger als die Linie B, während umgekehrt die Linie B für den Personenverkehr billiger im Betriebe ist. In der That sind nach Tabelle IX für den Güterverkehr die Betriebskosten auf der Linie A für eine Tonne $= 60 \cdot 0{,}563 = 33{,}78$ Pfg. und auf der Linie $B = 50 \cdot 0{,}739 = 36{,}95$ Pfg. und nach Tabelle X für die Tonne der Personenzüge auf der Linie $A = 60 \cdot 1{,}076 = 64{,}56$ Pfg., dagegen auf der Linie $B = 50 \cdot 1{,}241 = 62{,}05$ Pfg.

Es wird durch dieses Beispiel die bemerkenswerthe Thatsache zur Anschauung gebracht, daſs bei der Auswahl unter verschiedenen zwischen zwei Punkten zur Verfügung stehenden Linien die Entscheidung für den Güter- und Personenverkehr unter Umständen nicht für die gleiche Linie ausfallen kann. Allerdings sind beim Personenverkehr die Betriebskosten für die Wahl der Linie nicht allein entscheidend, da man oft wegen der grösseren Fahrgeschwindigkeit die Linie mit flacheren Steigungen trotz etwas gröſserer Betriebskosten vorziehen wird.

Die vorstehenden Rechnungen zeigen übrigens, daſs zur Entscheidung der Frage, welche von verschiedenen zwischen

zwei Orten zur Verfügung stehenden Eisenbahnverbindungen die geringsten Betriebskosten erfordert, die Benutzung der virtuellen Länge nicht im Mindesten einfacher ist als die unmittelbare Berechnung der Betriebskosten. Handelt es sich nicht um den Betrieb auf bereits vorhandenen Bahnen, sondern um die Auswahl zwischen verschiedenen für den Bau in Frage kommenden Linien, dann ist die Benutzung der virtuellen Länge sogar weitläufiger, weil man die absolute Höhe der Betriebskosten braucht, welche man erst wieder aus der berechneten virtuellen Länge ableiten müfste, also einfache unmittelbar bestimmt. Der Begriff der virtuellen Länge wäre vollständig überflüfsig, wenn man denselben nur zur Vergleichung der Betriebskosten mehrerer zur Auswahl stehenden Linien benutzen wollte. Von Werth ist dagegen der Begriff der virtuellen Länge für eine zweckmäfsige Bestimmung der Frachtsätze nach der Höhe der Betriebskosten. Im Hinblick auf diese Verwendung der virtuellen Länge zur Bestimmung der Frachtlänge oder Tariflänge sind aber Meinungsverschiedenheiten über die Feststellung des Begriffs derselben entstanden. Manche Ingenieure, unter diesen namentlich Schübler*), wollen bei der virtuellen Tariflänge auch die Anlage- und Unterhaltungskosten der Bahn berücksichtigen. Schübler macht den Vorschlag, den durchschnittlich für das gesammte Bahnnetz eines Landes auf den Tonnenkilometer entfallenden Betrag der Zinsen des Anlagekapitals und der Unterhaltungskosten der Bahn, welchen er für Deutschland auf 0,525 Pfg. ermittelt, zu den Betriebskosten der Strecke (Fahrdienst und Zugförderungskosten) zu addiren und nach den so für die Einheit ermittelten Kosten die virtuelle Tariflänge zu bestimmen, welche dann für die Erhebung der Fracht

*) Schübler, Ueber den Begriff der virtuellen Länge und die praktischen Anwendungen derselben. Centralblatt der Bauverwaltung 1884.

zu Grunde gelegt werden soll.*) Die Betriebskosten, einschliefslich des Bahngeldes, würden für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge, hiernach auf einer Flachlandbahn 0,337 + 0,525 = 0,862 Pfg. und auf einer Bahn von 0,025 Steigung 0,914 + 0,525 = 1,439 Pfg. betragen, so dafs die virtuelle Tariflänge der letzteren $= \frac{1{,}439}{0{,}862} = 1{,}78$ sein würde.

Die folgende Rechnung wird aber zeigen, dafs der günstigste kilometrische Frachtsatz, also auch die Tariflänge, welche zur Feststellung desselben dienen soll, durchaus unabhängig von der Höhe der Bahnkosten ist. Bezeichnet man mit d den kilometrischen Frachtsatz, mit k die kilometrischen Betriebskosten ausschliefslich der Bahnkosten, wie solche also die Tabellen IX und X enthalten, mit $Ai + U$ die kilometrischen Unterhaltungskosten und Zinsen des Anlagekapitals der Bahn mit C die Verkehrsmenge, so ist der Betriebsüberschufs, nach Verzinsung des Anlagekapitals, noch:

$$N = C \left\{ d - k - \frac{Ai + U}{C} \right\}$$

oder

$$N = C\,(d - k) - (Ai + U).$$

Die Verkehrsmenge wird nach irgend einer Funktion $C = F\,(d)$ wachsen, wenn der Frachtsatz d abnimmt; setzt man $C = F\,(d)$ ein, so wird:

$$N = (d - k)\ F\,(d) - (Ai + U)$$

woraus man die Bedingung für den günstigsten Frachtsatz, bei welchem N am gröfsten wird, erhält zu:

*) Auch ich habe früher in einer Abhandlung: „Virtuelle Länge, virtuelle Steigung und Tariflänge der Eisenbahnen, Organ f. d. Fortschritt des Eisenbahnwesens 1879“ die Berücksichtigung der Bahnkosten bei Feststellung der Tariflänge für erforderlich gehalten, mich aber später von der Irrthümlichkeit dieser Ansicht überzeugt.

(Gl. 48). . . $(d - k) F'(d) + F(d) = o.$

Der günstigste Frachtsatz ist also lediglich von den reinen Betriebskosten k und von der Form der Funktion $F(d)$ abhängig, aber durchaus unabhängig von den Bahnkosten.

Nach den Untersuchungen im Heft I, § 13 ist der günstigste Frachtsatz ein bestimmtes Vielfaches der Betriebskosten, mufs also im gleichen Verhältnifs höher oder niedriger sein wie die Betriebskosten gröfser oder geringer sind.

Ganz abgesehen davon, dafs man bei Ermittlung des günstigsten Frachtsatzes und der für Erhebung der Fracht zu Grunde zu legenden Tariflänge die von der Höhe der Fracht abhängige Verkehrsmenge und demnach den auf die Verkehrseinheit durchschnittlich entfallenden Betrag des Bahngeldes nicht konstant annehmen darf, wird auch durch die Tariflänge Schübler's nicht die Absicht erreicht, für den Tonnen-Kilometer auf jeder beliebigen Bahnstrecke den gleichen Betriebsüberschufs zu gewinnen. Es würde dies nur in dem besonderen Falle eintreten, wenn der Frachtsatz auf der Flachlandbahn genau zu 0,862 Pfg., also um den durchschnittlichen Betrag des Bahngeldes von 0,525 höher als die Betriebskosten angesetzt würde. Wäre aber beispielsweise der Frachtsatz auf der Flachlandbahn gleich 1 Pfg. nach Schübler's Tariflänge also für eine mit 0,025 ansteigende Strecke = 1,78 Pfg., so gewänne man auf der Flachlandbahn einen Betriebsüberschufs 1,000 — 0,337 = 0,663 Pfg. und auf der Steigung von 0,025 einen solchen von 1,78 — 0,914 = 0,866 Pfg.

Die von der Verkehrsmenge unabhängigen Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten der Bahn, welche unter allen Umständen als konstante Ausgabe zu leisten sind, können niemals von Einfluſs auf die Bestimmung des günstigsten Frachtsatzes sein, durch welchen der höchste erreich-

bare Betriebsüberschufs gewonnen wird. Der Betriebsüberschuss entsteht aus dem Ueberschusse der für die Verkehrseinheit erhobenen Fracht über die durch die Verkehrseinheit verursachten Betriebskosten und bildet ein, der Verkehrsmenge entsprechendes Vielfaches dieses, an der Verkehrseinheit erreichten Ueberschusses. Da aber die Verkehrsmenge mit der Erhöhung des Frachtsatzes abnimmt, mit der Verminderung des Frachtsatzes zunimmt, so giebt es offenbar eine bestimmte günstigste Höhe des Frachtsatzes, welche von der Höhe der durch Beförderung der Verkehrseinheit erwachsenden Betriebskosten abhängt, aber vollständig unabhängig von der unabänderlich konstanten Höhe der Bahnkosten ist.

Wäre das günstigste Verhältnifs des Frachtsatzes zur Höhe der Betriebskosten auf Grund der Gesetzmäfsigkeit gefunden, nach welcher die Verkehrmenge von der Höhe des Frachtsatzes abhängig ist, so sollte nach diesem Verhältnisse die Fracht nicht nur für die verschiedenen Verkehrsgattungen, sondern auch für die verschiedenen Verkehrsstrecken festgesetzt werden. Für die Höhe der Fracht ist also nicht die Länge der durchfahrenden Strecke, sondern die Höhe der auf einer gegebenen Strecke aufzuwendenden Betriebskosten mafsgebend, soweit diese letzteren proportional mit der Zahl der beförderten Einheiten wachsen. Die Frachtlänge mufs also gleich der virtuellen Länge sein, wie solche durch die Formeln 46 und 47 gegeben wird.

§ 30.

Virtuelle Steigung.

Ist die gleichwerthige Steigung s_{II} für eine Bahn berechnet, deren mafsgebende Steigung s und deren Länge l ist, so berechnen sich die Betriebskosten zur Förderung einer Verkehrseinheit nach § 11 nach einer Gleichung von der Form:

$$K = (\alpha + \beta s + \gamma s_{II})\, l.$$

Zur Kennzeichnung der Betriebswürdigkeit der Bahn kann man nun unter Festhaltung der unveränderten Länge der Bahn ein Steigungsverhältnifs s_{III} ermitteln, welches die gleichen Betriebskosten verursachen würde, wenn es nicht allein einheitlich für die ganze Länge der Bahn bestände, sondern zugleich auch die mafsgebende Steigung für dieselbe bildete. Für eine solche Bahn müfste dann sein:

$$K = (\alpha + \beta s_{III} + \gamma s_{III})\, l.$$

Dieses Steigungsverhältnifs s_{III}, welches als virtuelle Steigung der Bahn bezeichnet werden möge, erhält man aus der Gleichsetzung:

$$(\alpha + \beta s_{III} + \gamma s_{III})\, l = (\alpha + \beta s + \gamma s_{II})\, l$$

zu:

$$s_{III} = \frac{\beta}{\beta + \gamma} s + \frac{\gamma}{\beta + \gamma} s_{II}$$

Für den Güterverkehr wurde nach § 13, $\beta = 10$ und $\gamma = 17$ gefunden, so dafs die virtuelle Steigung für den Güterverkehr zu:

(Gl. 49.) . . . $s_{III} = 0{,}37\, s + 0{,}63\, s_{II}$

erhalten wird.

Für den Personenverkehr ist nach § 13, $\beta = 8$ und $\gamma = 22$, so dafs die virtuelle Steigung für den Personenverkehr ist:

(Gl. 50.) . . . $s_{III} = 0{,}27\, s + 0{,}73\, s_{II}$.

Unter Benutzung der virtuellen Steigung erhält man die Betriebskosten für Beförderung einer Tonne Rohlast der Güterzüge über die ganze Länge der Bahn zu:

$$K = (0{,}24 + 27\, s_{III})\, l$$

oder zu:

(Gl. 51.) . . $K = 0{,}24\ (1 + 112{,}5\ s_{III})\ l$

und für die Tonne der Personenzüge zu:

$$K = (0{,}725 + 30\ s_{III})\ l$$

oder zu:

(Gl. 52.) . . $K = 0{,}725\ (1 + 41{,}4\ s_{III})\ l.$

Ist beispielsweise die maſsgebende Steigung einer Bahn gleich 0,015, die gleichwerthige Steigung derselben für den Güterverkehr = 0,00643, für den Personenverkehr = 0,00779, wie in dem Beispiel des § 11 berechnet wurde, so ist die virtuelle Steigung dieser Bahn für den Güterverkehr:

$$s_{III} = 0{,}37 \cdot 0{,}015 + 0{,}63 \cdot 0{,}00643 = 0{,}0096$$

und für den Personenverkehr:

$$s_{III} = 0{,}27 \cdot 0{,}015 + 0{,}73 \cdot 0{,}00779 = 0{,}0097.$$

Die gleichwerthige Steigung ist für den Personenverkehr stets gröſser als für den Güterverkehr, während die virtuelle Steigung für beide Verkehrsgattungen stets nur einen geringen Unterschied zeigt.

Theilt man die Gleichungen 51 und 52 durch die Kosten auf einer Flachlandbahn, also beziehungsweise durch 0,337 und 0,875, so erhält man die virtuelle Länge der Bahn in Abhängigkeit von der virtuellen Steigung, und zwar für den Güterverkehr zu:

(Gl. 53) . . . $\lambda = 0{,}71\ (1 + 112{,}5\ s_{III})\ l$

und für den Personenverkehr zu:

(Gl. 54) . . . $\lambda = 0{,}83\ (1 + 41{,}4\ s_{III})\ l.$

Die virtuelle Länge wird also für den Güterverkehr gleich 2, wenn die virtuelle Steigung gleich 0,0115 ist, für

den Personenverkehr aber erst bei einer virtuellen Steigung gleich 0,0282.

Es bedarf übrigens wohl kaum der Erwähnung, dafs die Berechnung der Betriebskosten wie auch der virtuellen Länge einfacher und kürzer ohne vorhergehende Ermittlung der virtuellen Steigung geschehen kann. Der Begriff der virtuellen Steigung hat für praktische Verwendung wenig Bedeutung. Die virtuelle Steigung ist lediglich von Werth als Mafs für die Betriebswürdigkeit einer Bahn.

Abschnitt III.

Die Feststellung der Trafse.

§ 31.

Allgemeine und ausführliche Trafsirung.

Man unterscheidet allgemeine und ausführliche Trafsirung oder dementsprechend allgemeine und ausführliche Vorarbeiten.

Die allgemeine Trafsirung soll zur Beurtheilung der Bauwürdigkeit der Bahn dienen, bei Privatunternehmungen auch die erforderlichen Vorlagen für die staatliche Genehmigung des Baues liefern, während durch die ausführliche Trafsirung die Grundlage für die Bau-Ausführung in einer auf alle Einzelheiten sich erstreckenden Ausarbeitung des Entwurfs gewonnen werden soll.

Bei der allgemeinen Trafsirung sind anzufertigen:

1. Eine Uebersichtskarte im Mafsstabe von 1:200000 bis 1:50000, in welcher die Bahnlinie, in Kilometer getheilt und in Abständen von 5 Kilometern mit der Kilometerzahl versehen, eingezeichnet ist. In Preufsen sollen hierfür die Generalstabskarten im Mafsstabe von 1:100000 benutzt

werden und es soll die Bahnlinie mit zinnoberrother Farbe eingetragen werden.

2. Ein Längenschnitt, in welchem die Höhenlage des Bodens und der geplanten Bahnlinie mit Angabe der Steigungsverhältnifse, die Längen der Bahnhöfe und Tunnels, die Weiten der Brücken, Durchlässe und Wege-Uebergänge, die Sohlentiefen und Wasserstände der Gewässer, die Höhe des Grundwasserstandes, die Bodenbeschaffenheit und Benutzungsweise der Bodenoberfläche einzutragen und unter welchem die Krümmungsverhältnifse der Bahn durch das sogenannte Kurvenband darzustellen sind.

In Preufsen ist als Mafsstab für die Längen dieses Längenschnitts 1 : 10000 vorgeschrieben, wie auch in andern Ländern meistens üblich ist, und für die Höhen ein Mafsstab von 1 : 500, der sonst häufig zu 1 : 1000 gewählt wird. In Bezug auf alle weiteren Einzelheiten der Ausführungsweise und farbigen Behandlung des Längenschnitts gelten die bei der ausführlichen Trafsirung angegebenen Vorschriften.

3. Ein Lageplan der Umgebung der Bahn, welcher in der Regel unter dem Längenschnitt dargestellt sein und sich mindestens auf 250 m Breite nach jeder Seite der Bahnlinie erstrecken soll. Nach den preufsischen Vorschriften soll der Lageplan in einem Mafsstabe von 1 : 10000 gezeichnet sein und, falls die Bodengestaltung von Einfluſs auf die Lage der Trafse ist, Schichtenkurven enthalten; welche in Höhenabständen von 5 oder 10 m liegen; auch mufs die Nordlinie angegeben sein.

Für Bahnen im Hügellande oder Gebirge wird oft die Darstellung der Bodengestaltung in gröfserer Ausdehnung durch einen Lageplan mit Schichtenkurven auf einem besonseren Blatte erforderlich.

4. Ein Erläuterungsbericht, welcher eine Beschreibung der Bahn mit Angabe der darin vorkommenden gröfseren Bauwerke und eine Begründung der gewählten Trafse sowie der Grundsätze, nach welchen ihre Gestaltung in allen Einzelheiten durchgeführt wurde, enthält. Eine Darlegung der wirthschaftlichen Bedeutung der Bahn wird entweder in diesem Erläuterungsberichte gegeben oder in einer besonderen Denkschrift angefügt.

5. Ein Kosten-Ueberschlag, welcher nach denselben Titeln gegliedert ist wie der Kostenanschlag bei der ausführlichen Trafsirung.

Bei der ausführlichen Trafsirung mufs eine genaue Darstellung der Grundriss- und Höhenlage der Bahn vorgenommen werden und es sind die technischen Unterlagen für den Grunderwerb und für den Erdbau, die Entwürfe für den Oberbau, die Brücken, Durchlässe, Wege-Uebergänge, Futtermauern, Tunnels und für aufsergewöhnliche Anlagen, endlich für die Bahnhöfe und deren einzelne Anlagen anzufertigen.

In Preufsen sind nach einer Verfügung vom Oktober 1871 für die ausführlichen Vorarbeiten die folgenden Bestimmungen erlassen:

1. Der Längenschnitt der Bahn soll die Längen nach einem Mafsstabe von 1:2500, die Höhen in 1:250 darstellen. Die Bahn soll in Stationen von 100 m Länge eingetheilt werden, welche vom Anfangspunkte ab mit fortlaufenden Nummern, unmittelbar unterhalb der Horizontalen des Längenschnitts zu bezeichnen sind. Unter den Stationsnummern werden ebenfalls in fortlaufender Nummerfolge die Kilometer mit römischen Zahlen angegeben.

Die Stationsmitte sowie die Lage anderer, zwischen den Stationspunkten etwa noch erforderlichen Punkte ist durch das Einschreiben ihrer Entfernung von dem vorliegenden

Stationspunkte festzustellen, ebenso auch die Lage der Gefällwechsel, der Anfangs- und Endpunkte der Kurven, der Tunnels und der Bahnhöfe, die Lage der Brücken, Durchlässe, Wege-Uebergänge u. s. w.

Alle Höhen-Angaben sind auf den Nullpunkt des Amsterdamer Pegels (Normal-Null) zu beziehen. Wenn sich hierdurch für einzelne Blätter zu lange Ordinaten ergeben, so kann die Horizontale höher, jedoch immer nur um volle 10 m, gelegt werden, was unmittelbar oberhalb der Horizontalen anzugeben ist. Die Höhenzahlen bleiben aber, ohne Berücksichtigung einer solchen Verlegung der gezeichneten Horizontalen stets auf Normalnull bezogen.

Alle auf den vor der Bahnanlage vorhandenen Zustand sich beziehenden Höhenzahlen sind mit schwarzer Farbe einzuschreiben, also die Bodenhöhe an den Stationspunkten, in den Stationsmitten und anderer in Betracht kommenden Zwischenpunkte, die Kronkanten und Steinbahnhöhen der gekreuzten oder in der Nähe befindlichen Wege, sowie die Scheitel- und Kämpferhöhen der in diesen Wegen vorhandenen gewölbten Brücken, beziehungsweise die Konstruktions-Unterkanten eiserner oder hölzerner Brücken, die Sohlentiefen und Uferkanten der Gewässer, die Nullpunkte der in der Nähe befindlichen Pegel, die Höhenlage von Wehren und Fachbäumen, die Schwellenhöhen benachbarter Gebäude u. s. w.

Dagegen sind die Niedrig-, Mittel- und Hochwasserstände der Gewässer, der Grundwasserstand, sowie die auf die Seitengräben der Bahn bezüglichen Zahlen mit blauer Farbe und alle übrigen Zahlenangaben des Bahn-Entwurfs zinnoberroth einzutragen.

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung nach Bodenart und Schichtgrenzen, die Sohlentiefen von Mooren und Sümpfen, sowie die wirthschaftliche Benutzung der Bodenoberfläche, ob

Ackerland, Wiese, Wald, Garten u. s. w., endlich die politischen Grenzen der Gemeinden, Kreise u. s. w. sind im Längenschnitte anzugeben.

Die Steigungsverhältnifse der Bahn werden von Gefällwechsel zu Gefällwechsel oberhalb der Entwurfshöhenlinien, unter Angabe der Längen der einzelnen Strecken, eingeschrieben und die Anfangs- und Endpunkte der Kurven, ihre Halbmesser, ihre Länge und die Länge der zwischen liegenden Geraden werden unmittelbar unter der Horizontalen in dem sogenannten Kurvenbande angegeben.

Die Höhe des gewachsenen Bodens, also die Sohle der Einschnitte und Dämme wird mit braunem Farbenton, nach unten verwaschen, angelegt. Die Abtragsflächen des Längenschnitts erhalten einen grauen, die Auftragsflächen einen blafsrothen Farbenton. Die Auf- oder Abtragshöhen werden an allen Ordinaten mit zinnoberrothen Zahlen angegeben.

Die Brücken, Durchläfse, Wegeübergänge und Tunnels werden, entsprechend dem verschiedenen Längen- und Höhenmafsstabe, im Schnitte dargestellt, mit Angabe der Lichtweiten oder bezw. der Längen, wobei auch der Name des Flufslaufes oder Weges beigeschrieben wird.

Die Anfangs- und Endpunkte der Bahnhöfe werden durch Ordinaten, welche bis oberhalb der Bodenlinien verlängert und durch kleine Fähnchen bezeichnet werden, angegeben und der Name des Bahnhofes oder der Haltestellen zwischen diesen Ordinaten eingeschrieben.

Jedes einzelne Blatt des Längenschnitts, 46 cm breit und 64 cm hoch, mufs eine Ueberschrift haben, welche den Namen der Bahn angiebt, und mit einer Unterschrift des Technikers versehen sein, welcher die Aufnahme gemacht hat, sowie mit einer Angabe über die Zeit der Aufnahme. Drei bis vier Blätter dürfen mittelst Leinwandrücken zusammengeklebt werden.

Zweckmäfsig werden in Abständen von etwa 1000 m feste Höhenpunkte gesetzt, welche aufserhalb der vom Bahnbau berührten Bodenfläche liegen.

2. Der Lageplan, mindestens eine Breite von 250 m nach jeder Seite der Bahn umfafsend, soll nach den preufsischen Vorschriften in einem Mafsstabe von 1 : 2500, in der Regel unter dem Längenschnitte auf demselben Blatte mit diesem, dargestellt werden. Die Bodengestaltung ist, soweit es zur Beurtheilung der gewählten Richtung und Höhenlage der Bahn erforderlich erscheint, durch Horizontalkurven in Höhen-Abständen von 5 bis 1 m anzugeben. Auf jedem Blatte mufs die Nordlinie eingezeichnet werden.

Die Mittellinie der Bahn, in Stationen und Kilometer getheilt, wird punktirt in zinnoberrother Farbe eingetragen und mit zinnoberrothen Stations- und Kilometerzahlen beschrieben. Der Bahnkörper ist mit den Seitengräben und Böschungen sowie mit allen seinen Neben-Anlagen als Wege-Übergänge und Verlegungen, Parallelwegen, Schutzstreifen, Brücken, Flufsverlegungen u. s. w. vollständig einzutragen, wobei alles Bestehende schwarz, dagegen alle Theile des Entwurfs zinnoberroth zu zeichnen und zu beschreiben sind.

Am Anfange und Ende eines jeden Blattes sind im Lageplan und auch im Längenschnitt mindestens 100 m des vorhergehenden oder beziehungsweise des folgenden Blattes, jedoch nur in einfachen Linien, mit darzustellen.

3. Die Querschnitte der Bahn werden in der Breite und Höhe nach einem Mafsstabe von 1 : 250 gezeichnet. Unter der Horizontalen des Querschnitts wird der Punkt des Längenschnitts, an welchem der Querschnitt genommen ist und der Abstand aller aufgetragenen Punkte von der Mittellinie der Bahn angegeben. Im Übrigen gelten für die Querschnitte

alle Bestimmungen, welche für die Darstellung des Längenschnitts vorgeschrieben sind.

Die Querschnitte werden in der Regel in einem Hefte von Aktengröfse eingezeichnet. Die Anzahl der Querschnitte richtet sich nach der Bodengestaltung; während im Flachlande zuweilen zwei bis drei auf einen Kilometer Länge genügen, sind im Hügellande und Gebirge oft 50 bis 100 erforderlich.

4. Die Zeichnungen der Futtermauern, Brücken, Tunnels und der Gebäude sind in der Regel nach einem Mafsstabe von 1 : 100 anzufertigen. Es sind die zur vollständigen Beurtheilung der Entwürfe erforderlichen Grundrifse, Schnitte und Ansichten darzustellen und von aufsergewöhnlichen oder wichtigen Anordnungen Einzelzeichnungen in gröfserem Mafsstabe zu geben.

Die Beschaffenheit des Baugrundes, die höchsten und die niedrigsten Wasserstände sind in den Entwürfen anzugeben, auch die Hauptabmessungen darin mit Zahlen einzuschreiben.

5. Die allgemeine Anordnung des Oberbaues, sowie auch die Anordnung der Wege-Uebergänge in Schienenhöhe, ist nach einem Mafsstabe von 1 : 50 darzustellen. Die Querschnitte der Schienen und Laschen, die Unterlagsplatten, Laschenschrauben, Schienennägel u. s. w. sind in wahrer Gröfse zu zeichnen und auf den Zeichnungen die Gewichte einzuschreiben.

6. Von den Bahnhöfen und Haltestellen sind Lagepläne in einem Mafsstabe von 1 : 1000 anzufertigen, auf denen nicht nur sämmtliche Gebäude, sondern auch die nächsten Umgebungen und die zum Bahnhofe führenden Wege angegeben sind; auch sämmtliche Bahngeleise mit allen Weichen und Kreuzungen, die Perrons, Drehscheiben, Schiebebühnen, Wasserkrähne, Laderampen, Lösch- und Reinigungsgruben,

Signale, Laternen, Kanäle, Rohrleitungen u. s. w., sowie die Krümmungs- und Neigungsverhältnisse der Bahnlinie und die Nordlinie sind einzuzeichnen.

Alle Zeichnungen sind in gleicher Gröfse wie die Blätter des Längenschnitts (46 cm auf 64 cm) anzufertigen und, wo es erforderlich ist, klappenartig aneinander zu heften. Für wiederholt vorkommende bauliche Anlagen wie Durchläfse, kleinere Brücken, Wege-, Ueber- und Unterführungen, manche Gebäude der Bahnhöfe, Weichen, Drehscheiben, Schiebebühnen u. s. w. werden zweckmäfsig Normal-Entwürfe bearbeitet.

7. Der Erläuterungsbericht soll eine Darlegung der gesammten Bodenverhältnifse und des zu erwartenden Verkehrs, sowie die Begründung der danach gewählten Richtung und Höhenlage der Bahn und der für dieselbe festgestellten Trafsirungsverhältnifse enthalten. Bei der Beschreibung der Bahnlinie und ihrer Bauwerke ist die gewählte Anordnung der Bauwerke zu erläutern und zu begründen, auch eine Angabe über die Zeit, in welcher der gesammte Bahnbau und seine einzelnen Theile herzustellen sind, hinzuzufügen.

8. Der Kostenanschlag, welcher in Preufsen nach den folgenden Titeln geordnet sein soll:

I. Grunderwerb und Nutzungs-Entschädigungen.

II. Erd- und Böschungsarbeiten, Futtermauern, einschliefslich derjenigen zu den Wege-Uebergängen.

III. Unterhaltung des Unterbaus, sowie Instandhaltung des Oberbaus während der Bauzeit und während des ersten Betriebsjahres.

IV. Einfriedigungen.

V. Wege-Uebergänge, einschliefslich der Unter- und Ueberführungen von Wegen nebst allem Zubehör.

VI. Durchläfse und kleinere Brücken, bis zu 10 m lichter Weite.

VII. Gröfsere Brücken.
VIII. Tunnels.
IX. Besondere Vorrichtungen und Gebäude zum Betriebe geneigter Ebenen.
X. Oberbau, nebst allen Nebensträngen und Weichen.
XI. Signale, nebst dazu gehörigen Buden und Wärterwohnungen.
XII. Bahnhöfe und Haltestellen, nebst allem Zubehör an Gebäuden, Drehscheiben, Wasserkrahnen u. s. w.
XIII. Sonstige und aufserordentliche Anlagen, als Flufsverlegungen, Durchführung durch Festungswerke u. s. w.
XIV. Betriebsmittel.
XV. Verwaltungskosten.
XVI. Insgemein.
XVII. Zinsen während der Bauzeit.

§ 32.

Trafsirung im Flachlande.

Auf Flachlandbahnen sind die Steigungen so gering, dafs bei der Thalfahrt nirgends ein Bremsen erforderlich wird, und die Krümmungshalbmesser so grofs, dafs die Kurven keine bemerkenswerthe Erhöhung des Zugwiderstandes verursachen. Die Steigungen überschreiten also nirgends das Mafs des Widerstandskoeffizienten $\omega = 0{,}0036$ und die Krümmungshalbmesser sind stets gröfser als 1000 m.

In den Gleichungen 10 und 11 des § 13, welche die Betriebskosten für den Nutztonnen-Kilometer und für den Personen-Kilometer angeben, mufs für Flachlandbahnen daher der Kurvenwiderstand $c = 0$ und $s_1 = \omega$, mithin für den Güterverkehr $s_1 = 0{,}0036$ und für den Personen-Verkehr $s_1 = 0{,}0055$ eingesetzt werden, so dafs die Betriebskosten für eine

Linie von l Kilometer Länge, auf welcher jährlich T Tonnen Nutzlast und P Personen befördert werden, sind:

Gl. 55.) $K = T(0{,}703 + 23^1/_3\, s)\, l + P(1{,}134 + 10^2/_3\, s)\, l$

in Pfennigen. Die Betriebskosten sind also aufser von der Verkehrsmenge und von der Gesammtlänge der Bahn nur noch von der Gröfse s der mafsgebenden Steigung abhängig.

Die erste Aufgabe der technischen Trafsirung besteht darin, für den durch die kommerzielle Trafsirung gefundenen Linienzug eine vorläufige Feststellung der Höhenlage und der Steigungsverhältnifse vorzunehmen. Dabei ist nach den in § 22 entwickelten Grundsätzen zu verfahren. Man mufs den geringsten Abstand der Gefällwechsel um so gröfser annehmen je bedeutender die Fahrgeschwindigkeit sein soll, und wird unter möglichster Anschmiegung an die Bodengestaltung und unter thunlichster Ausgleichung der Auf- und Abträge, die Höhe des Grundwassers berücksichtigen müssen. Für die Höhenlage der Bahnhöfe, der Wege- und Flufs-Uebergänge wird man das zweckmäfsigste Mafs zu erreichen suchen, dabei für die Bahnhöfe eine horizontale Strecke von der erforderlichen Länge anordnen, im Uebrigen aber die Steigungsverhältnifse beliebig zwischen den Grenzen 0 und 0,0036 wählen können. Zugleich mit dieser ersten Bearbeitung des Längenschnitts der Trafse wird im Grundrifse eine Ausrundung der Knickpunkte der kommerziellen Trafse nach Krümmungshalbmessern von mindestens 1000 m vorgenommen, wobei für die Bahnhöfe eine genügend lange gerade Strecke festgelegt wird.

Auf diese erste Bearbeitung des Entwurfs erfolgt als zweiter Schritt in der Trafsirung die Ermittlung der vortheilhaftesten Gröfse der mafsgebenden Steigung. Setzt man in Gl. 55 für T, P und l die betreffende Zahlenwerthe ein, so erhält man für die Betriebskosten eine Gleichung von der einfachen Form $K = D + Es$. Sei beispielsweise $T = 400000$, $P =$

250 000 und $l = 120$, so sind die Betriebskosten in Mark:

$$K = 677\,640 + 14\,400\,000\ s.$$

Wäre nun nach der ersten Festlegung der Steigungsverhältnifse die gröfste vorkommende Steigung auf eine Gesammtlänge von 4 Km. gleich 0,0036, so würde man durch Verflachung dieser Strecken auf ein Steigungsverhältnifs von 0,0030 an Betriebskosten 14400000 · 0,0006 = 8640 Mk. ersparen. Die Durchführung dieser Verringerung der mafsgebenden Steigung würde vortheilhaft sein, wenn die Zinsen der dabei entstehenden Vergröfserung des Anlagekapitals unter diesem Betrage blieben, also bei Anrechnung von 4 Proz., wenn das Anlagekapital um weniger als 216000 Mk. dadurch vergröfsert würde.

Hätte sich hiernach diese Verflachung als zweckmäfsig erwiesen, so würde man ferner prüfen müssen, ob eine weitere Verflachung, die nun vielleicht in einer Gesammtlänge von 7 Km. vorhandene gröfseste Steigung von 0,0030, sei es auf 0,0027, sich empfehlen würde. Die Vermehrung der Anlagekosten der Bahn dürfte keinen höheren Zinsenbetrag als die entstehende Verminderung der Betriebskosten von 14400000 · 0,0003 = 4320 Mk. betragen, wenn diese Verflachung vortheilhaft sein sollte. Durch solche Versuchsrechnungen wird man bald den günstigsten Werth für die mafsgebende Steigung finden können.

Es mufs aber hervorgehoben werden, dafs der vorstehend erörterte Rechnungsgang zur Ermittlung der günstigsten mafsgebenden Steigung für Bahnen mit geringem Verkehr nicht zutreffend ist. Man mufs beachten, dafs die Verflachung der mafsgebenden Steigung die Betriebskosten nur defshalb verringert, weil dadurch die Beförderung schwerer Züge möglich wird. Wenn aber das Bedürfnifs der Beförderung schwererer Züge überhaupt nicht vorliegt, wie bei Bahnen mit geringem

Verkehr, so tritt mit der Verringerung der maſsgebenden Steigung auch keine Ermäſsigung der Betriebskosten ein.

Wäre z. B. für eine Lokalbahn der Güterverkehr jährlich 90000 Tonnen Nutzlast = 210000 Tonnen Rohlast, der Personenverkehr gleich 120000 Personen oder gleich 150000 Tonnen Zuglast, also der Jahresverkehr 360000 Tonnen Zuggewicht, so würden täglich 990 Tonnen zu befördern sein, mithin bei 3 Zügen täglich in jeder Richtung eine Zugbelastung von 165 Tonnen entstehen. Würden Lokomotiven von 30 Tonnen Gewicht und einem Zugkraftskoeffizienten von 0,08, also mit einer Zugkraft von 2,4 Tonnen verwendet, so würde die Steigung s, auf welcher ein Zug von dem berechneten Gewichte noch aufwärts geschafft werden kann, aus der Gleichung:

$$(165 + 30)\ (0{,}0036 + s) = 2{,}4$$

zu $s = 0{,}0087$ erhalten.

Wenn eine Verminderung der Zugzahl, durch welche eine Vergröſserung des Zuggewichts eintreten kann, nicht erwünscht ist, so kann auf einer Flachlandbahn auch keine Verminderung der Betriebskosten entstehen, wenn die maſsgebende Steigung kleiner als 0,0036 angeordnet wird. Es wird sogar meistens in solchem Falle in Frage kommen, ob man nicht eine Ersparung an Baukosten erreichen kann, wenn man den Charakter der Flachlandbahn aufgiebt und eine maſsgebende Steigung anordnet, welche gröſser als 0,0036 ist. Dies würde nach den Rechnungen des § 33 zu entscheiden sein.

Ist die maſsgebende Steigung unter Festhaltung des Charakters einer Flachlandbahn, also kleiner oder gleich 0,0036 bestimmt, so kann zu dem dritten Schritte in der Durchführung der technischen Traſsirung übergegangen werden, durch welchen untersucht wird, ob nicht aus irgend einem Grunde für einzelne Theile der Traſse eine Grundriſs-

Veränderung vorzunehmen ist. Bei allen diesen Erwägungen mufs festgehalten werden, dafs die Betriebskosten einer Flachlandbahn, nachdem die mafsgebende Steigung festgestellt ist, allein von der Länge der Linie abhängig sind. Nach Gl. 55 sind die kilometrischen Betriebskosten einer Flachlandbahn, deren mafsgebende Steigung beispielsweise $s = 0{,}0030$ ist und auf welcher ein Verkehr von 400000 Tonnen Nutzlast und 250000 Personen stattfindet, rund 6000 Mark. Sind die kilometrischen Kosten für Bahn-Unterhaltung und Bewachung jährlich 3000 Mark, so sind die Betriebs- und Unterhaltungskosten für den lfd. Meter 9 Mark, was bei 4 Prozent Zinsen einem Kapitale von 225 Mark entspricht. Eine Grundrifs-Aenderung der Trafse ist demnach vortheilhaft, wenn bei einer Verlängerung der Linie um x Meter eine Verminderung der Anlagekosten um mehr als $225\,x$ Mark eintritt, oder wenn bei einer Abkürzung der Linie um x Meter der Mehraufwand an Anlagekosten unter $225\,x$ Mark bleibt. Ueber alle in Frage kommenden Aenderungen der Trafse ist hiernach in sehr einfacher Weise zu entscheiden.

Aenderungen der Trafse können veranlafst werden durch Rücksichten auf den Grunderwerb, auf die Bodenbeschaffenheit, auf die Wege-Uebergänge und auf die Wasserläufe.

Unter Berücksichtigung der Grunderwerbskosten wird man möglichst die mit Gebäuden besetzten oder sonst sehr werthvollen Grundstücke zu umgehen, auch Durchschneidungen von Ländereien zu vermeiden suchen; Kirchen und Friedhöfe müssen unberührt bleiben.

Die Bodengestaltung wird bei Flachlandbahnen nur ausnahmsweise eine Verlegung der Trafse veranlafsen, wohl aber die Bodenbeschaffenheit, indem man Moore und Sümpfe

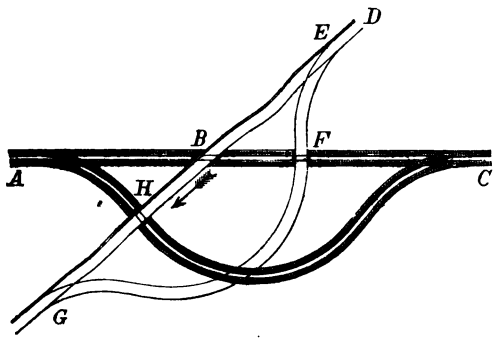
oder zur Dammschüttung ungeeignete Bodenarten zu vermeiden sucht.

Mit Rücksicht auf die Wege-Uebergänge wird nur selten, und auch wohl nur bei Lokalbahnen, eine Grundriſs-Aenderung der Traſse in Frage kommen, da man eine zu spitzwinklige Kreuzung in der Regel billiger durch eine Verlegung des Weges als durch eine Aenderung der Eisenbahntraſse vermeidet.

Am häufigsten werden durch die Wasserverhältniſse Aenderungen in der ursprünglich festgelegten Traſse veranlaſst werden. Zunächst wird man die Bahn möglichst aufserhalb des Ueberschwemmungsgebietes zu halten suchen und Durchschneidung von Seen vermeiden. Für die Ueberbrückung der Flüſse wird man eine Stelle mit geregeltem Flufslaufe und gutem Baugrunde, sowie eine rechtwinklige Ueberschreitung zu erreichen suchen.

Zur Vermeidung einer schiefwinkeligen Ueberbrückung kann eine Verlegung des Flufslaufes oder eine Aenderung der Bahntraſse in Frage kommen.

Fig. 16.

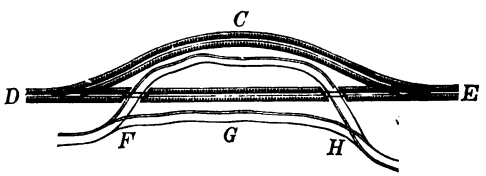


Soll die Verlegung des Flufslaufes aus der Strecke *EBG* (Fig. 16) in die Linie *EFG* empfehlenswerth sein, so mufs die

Ersparung an der bei F auszuführenden rechtwinkligen Brücke im Vergleich zu der bei B erforderlichen schiefen Brücke die Kosten der Flufsverlegung übertreffen. Die Verlegung der Bahn aus der Richtung ABC in die Linie AHC ist aber nur gerechtfertigt, wenn die Minderkosten der rechtwinkligen Brücke bei H gegenüber der schiefwinkligen Brücke bei B gröfser sind als die Mehrkosten des Baues der Linie AHC gegenüber ABC und dem Mehrbetrage 225 x Mark an Betriebs- und Unterhaltungskosten der um x Meter verlängerten Bahntrafse.

Zur Vermeidung wiederholter Flufsübergänge kann ebenfalls eine Verlegung des Flufses oder der Trafse (nach Fig. 17) in Frage kommen.

Fig. 17.



In beiden Fällen spart man die Herstellungskosten der beiden Brücken bei A und B, wogegen man in einem Falle die Flufsverlegung in die Linie FGH vorzunehmen hat, im andern Falle die Bahnverlegung in die Linie DCE, für welche erhöhe Anlagekosten und bei einer Verlängerung von x Metern ein Betrag von 225 x Mark mit Rücksicht auf Betrieb und Unterhaltung in Ansatz zu bringen sind.

§ 33.

Trafsirung im Hügellande.

Die Trafse im Hügellande hat in einzelnen Strecken Steigungen, welche die Grenze der unschädlichen Steigungen

überschreiten. Auf die Grundrifslage der Trafse ist die Bodengestaltung, welche in der Regel zu erheblichen Abweichungen von der kommerziellen Trafse und daher zu Umwegen zwingt, von entscheidendem Einfluſse.

Am einfachsten ist der Fall, wenn beide Endpunkte der Trafse in ein und demselben Thalzuge liegen, so dafs die Linie im Allgemeinen der Richtung des Thalweges folgen kann. Liegen die zu verbindenden Punkte aber in verschiedenen Thälern, von denen das eine nicht in das andere einmündet, so ist die Trafse über Wasserscheiden zu führen. Es ist dann zunächst der zweckmäfsigste Ueberschreitungspunkt der Wasserscheide in Grundrifs- und Höhenlage zu bestimmen, wonach dann durch diese Wasserscheiden die gesammte Länge der Trafse in Theilstrecken zerlegt ist, welche Punkte innerhalb eines und desselben Thalzuges zu verbinden haben.

Für die Ueberschreitung der Wasserscheiden sind in der Regel die tiefsten Einsenkungen, die Sattel oder Pässe, in den Wasserscheidelinien zu wählen, unter denen oft zwischen mehreren benachbarten eine Entscheidung zu treffen ist. Nur in Ausnahmefällen kann die Ueberschreitung einer Wasserscheide an einem höheren Punkte den Vorzug verdienen, wenn etwa dort die Bodenverhältnifse für die Durchbrechung entschieden günstiger sind oder eine erhebliche Abkürzung der Trafse im Vergleich zu der Linie über den Pafs erreicht werden kann.

Für jede einzelne Stelle der Wasserscheide, welche für die Ueberschreitung in Frage kommt, mufs eine Feststellung der zweckmäfsigsten Höhenlage der Trafse getroffen werden, bevor eine Vergleichung mit andern Uebergangsstellen vorgenommen werden kann.

Die technische Trafsirung im Hügellande beginnt, falls eine oder mehrere Wasserscheiden zu überschreiten sind, mit

der Feststellung der zweckmäfsigsten Durchbrechungshöhe dieser Wasserscheiden. Man zieht dabei zunächst diejenige Wasserscheide in Betrachtung, in deren Zugangslinien voraussichtlich das steilste, für die ganze Bahnlinie zur mafsgebenden Steigung werdende Steigungsverhältnifs vorkommt.

Wird die mafsgebende Steigung s in einer Länge l_1 bis zur Wasserscheide durchgeführt, so sind die Betriebskosten auf derselben für eine Tonne Nutzlast nach Gl. 10, S. 59:

$$k_1 = (0{,}56 + 23\,1/3\; s + 39\,2/3\; s)\; l_1 .$$

Hat die auf der andern Seite von der Scheitelhöhe abwärts führende Strecke bei einer Gesammtlänge l_{II} eine gleichwerthige Steigung s_1, so sind auf dieser die Betriebskosten für eine Tonne Nutzlast:

$$k_{II} = (0{,}56 + 23\,1/3\; s + 39\,2/3\; s_1)\; l_{II}$$

Ist endlich die Länge der übrigen Erstreckung der Trafse l_{III} und die gleichwerthige Steigung derselben s_{II}, so sind die Betriebskosten auf dieser für eine Tonne Nutzlast:

$$k_{III} = (0{,}56 + 23\,1/3\; s + 39\,2/3\; s_{II})\; l_{III}$$

Die Betriebskosten für die ganze Länge der Bahnlinie $k = k_1 + k_{II} + k_{III}$ sind demnach, wenn die ganze Länge $l_1 + l_{II} + l_{III} = l$ gesetzt wird:

$$k = (0{,}56 + 23\,1/3\; s)\; l + 39\,2/3\; (l_1\; s + l_{II}\; s_1 + l_{III}\; s_{II})$$

Setzt man ferner die von beiden Seiten zur Wasserscheide zu ersteigenden Höhen $s\; l_1 = h_1$ und $s_1\; l_{II} = h_{II}$, so folgt:

$$k = \left(0{,}56 + 23\,1/3\; \frac{h_1}{l_1}\right) l + 39\,2/3\; (h_1 + h_{II} + l_{III}\; s_{II})$$

Wird die Durchbrechungshöhe der Wasserscheide um x Kilometer erniedrigt, h_1 wie h_{II}, also um x kleiner, so werden an den Betriebskosten für eine Tonne gespart:

$$e = (23\,1/3\; \frac{l}{l_1} + 79\,1/3)\; x.$$

Nach gleichem Rechnungsgange findet man für die Ersparung an den Betriebskosten zur Fortschaffung einer Person über die ganze Länge der Bahn:

$$e_1 = (10^2/_3 \frac{l}{l_1} + 58^2/_3)\, x$$

Hat die Bahn einen Jahresverkehr von T Tonnen Nutzlast und P Personen, so ist die Ersparung bei Senkung der Wasserscheidendurchbrechung um x Meter in Mark:

$$\text{(Gl. 56.)} \quad E = \left\{ T(70 \frac{l}{l_1} + 238) + P(32 \frac{l}{l_1} + 176) \right\} \frac{x}{300\,000}$$

also beispielsweise für $T = 400\,000$, $P = 250\,000$, $l = 120$ und $l_1 = 8$:

$$E = 2264\, x \text{ Mark.}$$

Die Scheitelhöhe der Trafse an der Wasserscheide mufs daher so tief gelegt werden, bis eine weitere Tieferlegung derselben um einen Meter die Zinsen des Baukapitals um 2264 Mk. vergröfsern würde. Kostete der laufende Meter des Scheiteltunnels 3000 Mk., also jährlich 120 Mk. Zinsen, so müfste die Tunnelsohle so tief gesenkt werden, dafs eine um einen Meter tiefere Lage nur durch eine Verlängerung des Tunnels um $\frac{2264}{120} = 18{,}9$ m erreichbar wäre.

Bei Herleitung der durch Gl. 56 angegebenen Ersparung an Betriebskosten, welche in Folge einer Tieferlegung der Scheitelhöhe der Trafse um x Meter eintritt, wurde angenommen, dafs die mafsgebende Steigung sich in entsprechender Weise mit der Verringerung der zu ersteigenden Höhe werde verkleinern lafsen. Bleibt die mafsgebende Steigung aber bei Verringerung der Scheitelhöhe der Trafse unverändert, so ist die bei einer Senkung des Scheitels um x Meter eintretende Ersparung nur:

$$\text{(Gl. 57.)} \quad . \quad . \quad E = (238\, T + 176\, P) \frac{x}{300\,000}$$

mithin für $T = 400000$, $P = 250000$ nur $E = 464\ x$ Mark, so dafs bei den angenommenen Kosten des Scheiteltunnels eine Höhenlage festgehalten werden müfste, bei welcher eine weitere Senkung um einen Meter eine Verlängerung des Tunnels um mehr als $\frac{464}{120} = 3{,}9$ m verursachen würde.

Stehen mehrere Stellen für die Ueberschreitung der Wasserscheide zur Auswahl, so kann zuweilen die Entscheidung schon auf Grund der vorstehenden Rechnungen getroffen werden, während in anderen Fällen die Trafsirungsarbeiten noch für die verschiedenen, in Vergleichung kommenden Linien weiter geführt werden müssen.

Durch die Festlegung der Scheitelhöhe an der Wasserscheide wird die ganze Länge der Linie in Theilstrecken zerlegt, deren jede einzelne in ihrer ganzen Erstreckung in ein und demselben Thalzuge liegt.

Ueberschreitet die Linie ein Thal, indem sie von einer Wasserscheide zur Thalsohle niedersteigt und von dieser zur nächsten Wasserscheide wieder ansteigt, so mufs die zweckmäfsigste Höhenlage des tiefsten Punktes im Thalwege nach dem gleichen Rechnungsgange wie bei Ermittlung der günstigsten Durchbrechungshöhe der Wasserscheiden festgestellt werden. Man wird dabei selbstverständlich nicht unter das Mafs hinabgehen können, welches zur Ueberbrückung des Flufses erforderlich ist.

Sind in solcher Weise die oberen und unteren Beugungspunkte der Trafse im Grundrifs und Höhenlage festgelegt, so hat man Theilstrecken, deren jede von einem unteren Anfangspunkte zu einem oberen Endpunkte innerhalb ein- und desselben Thalzuges ansteigt. In vielen Fällen, in denen die Linie im Allgemeinen der Längenrichtung des Thales folgt, hat man für die Führung der Trafse freie Wahl zwischen

den beiden Uferseiten. Am günstigsten ist diejenige Thalseite, welche die billigsten Grunderwerbskosten bietet, die beste, gegen Rutschungen gesicherte Bodenbeschaffenheit besitzt, das schwächste Quergefälle hat, der Sonne zugekehrt ist und an welcher die wenigsten und unbedeutendsten Seitenthäler in das Hauptthal einmünden. Alle diese Forderungen sind selten zu gleicher Zeit erfüllt und es bedarf daher oft die Entscheidung über die Wahl der Thalseite die sorgfältigste Abwägung aller erwähnten Verhältnifse, wobei auch nicht selten an einzelnen Punkten ein Uebergang von einem Ufer an das andere sich als empfehlenswerth erweisen wird.

Mit der weiteren Bearbeitung der Trafse beginnt man nun in derjenigen Theilstrecke, in welcher die mafsgebende Steigung liegt, indem man prüft, ob das vorläufig dafür angenommene Mafs nicht noch günstiger gewählt werden kann, was von Einflufs auf die Trafsirung aller übrigen Theilstrecken sein und selbst eine Rückwirkung auf die Bestimmung der Durchbrechungshöhen der Wasserscheiden äufsern würde.

Da die Betriebskosten der ganzen Linie um so geringer werden, je kleiner die mafsgebende Steigung gewählt wird, so wird zunächst untersucht werden müssen, ob die mafsgebende Steigung vom tiefsten bis zum höchsten Punkte in einer einheitlichen, vielleicht nur an den Stationen unterbrochenen Steigungslinie durchgeführt werden kann.

Eine Linie mit einheitlicher Steigung wird unter möglichster Anschmiegung an die Bodengestaltung nach dem, in § 38 erörterten Verfahren im Schichtenplane aufzusuchen sein. Sie wird meistens in vielfachen Krümmungen den Biegungen des Thalzuges und der wellenförmigen Gestaltung des Thalhanges folgen. Nach Ermittlung dieser ersten Trafse, welche man als eine natürliche Steigungslinie bezeichnen kann, mufs dann in Erwägung gezogen werden, ob man die Trafse nicht

besser in einem schlankeren Linienzuge, unter Abkürzung der Länge und dementsprechend steilerer Anordnung des Steigungsverhältnisses, durchführt, indem man die Krümmungen der natürlichen Steigungslinie ermäfsigt oder ganz abschneidet, wobei die Einschnitte tiefer, die Dämme höher oder beziehungsweise durch Tunnel und Viadukte ersetzt werden.

Bei stark gekrümmten und mäfsig ansteigenden Thälern ist zu untersuchen, ob es nicht zweckmäfsig sein würde, den Linienzug im Thale entlang ganz aufzugeben und unter einmaliger oder wiederholter Uebersetzung des Thales und Durchbrechung der zwei Thalwindungen scheidenden Bergrücken, vom untern Ausgangspunkte im Thale die Wasserscheide auf wesentlich abgekürztem und dementsprechend steilerem Wege zu gewinnen.

Die Entscheidung zwischen den verschiedenen, hiernach zur Wahl kommenden Trafsen ist nach dem folgenden Rechnungsgange zu treffen.

Der für die Bahn zu erwartende Verkehr betrage T Tonnen Nutzlast und P Personen im Jahre. Der mit der mafsgebenden Steigung s durchzuführende Theil der Trafse habe eine Länge l_{I}, der übrige Theil der Linie eine Länge l_{II} mit der gleichwerthigen Steigung s_{II}. Dann sind die Betriebskosten:

$$K_{\text{I}} = T\,(0{,}56 + 63\,s)\,l_{\text{I}} + P\,(0{,}967 + 40\,s)\,l_{\text{I}}$$
$$+ T(0{,}56 + 23^{1}/_{3}\,s + 39^{2}/_{3}\,s_{\text{II}})\,l_{\text{II}} + P(0{,}967 + 10^{2}/_{3}\,s + 29^{1}/_{3}\,s_{\text{II}})\,l_{\text{II}}$$

und die Unterhaltungskosten:

$$K_{\text{II}} = U\,(l_{\text{I}} + l_{\text{II}}).$$

Ist die durch die mafsgebende Steigung zu ersteigende Höhe gleich h Kilometer und kommen in dieser Steigungslinie Kurven von α Grad Centriwinkelsumme vor, so ist nach § 23 zu setzen: $h + 0{,}0000175\,\alpha = h_{\text{I}}$ und $l_{\text{I}} = \frac{h_{\text{I}}}{s}$.

Unter Einsetzung dieser Beziehung erhält man $K = K_{\mathrm{I}} + K_{\mathrm{II}}$ zu:

$$(\text{Gl. 58})\quad K = \{T(0{,}56 + 39^2/_3\, s_{\mathrm{II}}) + P(0{,}967 + 29^1/_3\, s_{\mathrm{II}}) + U\}\, l_{\mathrm{II}} + (63\,T + 40\,P)\, h_{\mathrm{I}} + (0{,}56\,T + 0{,}967\,P + U)\,\frac{h_{\mathrm{I}}}{s} + (23^1/_3\,T + 10^2/_3\,P)\, l_{\mathrm{II}}\, s \text{ Pfennige.}$$

Setzt man beispielsweise $T = 400000$, $P = 250000$, $U = 300000$, $l_{\mathrm{II}} = 30$, ferner das erste Glied der Gleich. 58, welches von s und h_{I} unabhängig ist $= M$, so erhält man in Mark:

$$K = M + 352000\, h_{\mathrm{I}} + 7658\,\frac{h_{\mathrm{I}}}{s} + 3600000\, s.$$

Wäre die Linie unter möglichster Anschmiegung an die Bodengestaltung im Thale entlang geführt, wobei $s = 0{,}005$ und $h_{\mathrm{I}} = 0{,}215$ sein möge, so wären die Betriebs- und Unterhaltungskosten hiernach:

$$K = M + 422974 \text{ Mark.}$$

Wäre dagegen im schlankeren Linienzuge eine Abkürzung der Linie erreicht, wobei $h_{\mathrm{I}} = 0{,}210$ und $s = 0{,}0052$ entstanden, so würden die Betriebs- und Unterhaltungskosten auf:

$$K = M + 401905 \text{ Mark}$$

ermäßigt, also um 21069 Mark im Vergleich zu der ersten, der Bodengestaltung sich genauer anschmiegenden Linie geringer geworden sein. Dieser schlankere Linienzug würde also den Vorzug verdienen, wenn die Mehrkosten des Baues kleiner als $\frac{21069}{0{,}04} = 526725$ Mark wären.

Wäre eine dritte Linie möglich, durch welche unter Abschneidung der Thalwindungen die Wasserscheide auf kürzerem Wege erreicht wird, so würden, wenn dabei $h_{\mathrm{I}} = 0{,}204$ und

$s = 0{,}001$ entstände, die Betriebs- und Unterhaltungskosten sein:

$$K = M + 264231 \text{ Mark.}$$

Im Vergleiche zu der zuerst in Rechnung gezogenen Trafse wären die Betriebs- und Unterhaltungskosten also um 158743 Mk. geringer, so dafs sie den Vorzug verdiente, wenn die Baukosten um weniger als $\frac{158743}{0{,}04} = 3968575$ Mark gröfser als die der ersten Linie sind.

Nach diesen Rechnungen läfst sich die Entscheidung zwischen den verschiedenen zur Wahl stehenden Trafsen und damit auch über die zweckmäfsigste Gröfse der mafsgebenden Steigung in einfacher Weise treffen. Bei diesen Rechnungen wurde aber stets die Durchführung einer einheitlichen Steigung zur Erreichung der Wasserscheide angenommen, durch welche die mafsgebende Steigung und in Folge dessen auch die Betriebs- und Unterhaltungskosten auf das geringste Mafs gebracht werden. Abgesehen davon, dafs schon durch die Zwischenstationen eine Unterbrechung der einheitlichen Steigung nöthig wird, erfordert aber oft die Durchführung einer solchen gebundenen Steigung, wenn auch im Hügellande nicht in gleichem Mafse als im Gebirge, nicht unerhebliche Opfer an Baukosten. Wenn bei Durchführung der einheitlichen Steigung die Trafse in einzelnen Strecken hoch über dem Thalboden zu liegen kommt, Seitenthäler auf hohen Dämmen oder Viadukten überschreiten mufs, an steilen Hängen entlang zu führen ist oder sich von den zu berührenden Zwischenorten weit entfernt, wird in Frage zu ziehen sein, ob man durch Aufgebung der einheitlichen Steigung und durch besseren Anschlufs an die Thalsohle nicht an Baukosten mehr sparen kann als die Vermehrung der Betriebs- und Unterhaltungskosten beträgt. Die zur Entscheidung dieser

Frage anzustellenden Rechnungen sind in folgender Weise zu führen.

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten einer Bahnlinie von l_1 Kilometer Länge, deren maßgebende Steigung s ist, deren gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr s_1 und für den Personenverkehr s_{11} ist, betragen:

(Gl. 59.). $K = T\,(0{,}56 + 23^1/_3\, s + 39^2/_3\, s_1)\, l_1 + P\,(0{,}967 + 10^2/_3\, s + 29^1/_3\, s_{11})\, l_1 + U\, l_1$

Wäre die Linie mit einer einheitlichen Steigung von $s = 0{,}0052$ durchgeführt, also auf s_1 und $s_{11} = 0{,}0052$, ferner $l_1 = 40$, $T = 400\,000$, $P = 250\,000$ und $U = 300\,000$ Pfg., so wären nach Gl. 59 die Betriebs- und Unterhaltungskosten:

$$K = \frac{400\,000}{100}\,(0{,}56 + 63 \cdot 0{,}0052)\,40 + \frac{250\,000}{100}\,(0{,}967 + 40 \cdot 0{,}0052)\,40 + 3000 \cdot 40 = 379\,516 \text{ Mk.}$$

Wäre dagegen die Linie in gebrochener Steigung in einer Gesammtlänge von 42,8 Km der Thalsohle näher gebracht, wobei 15 Km die maßgebende Steigung $s = 0{,}008$, 8 Km eine Steigung von 0,006, 2 Km eine Steigung von 0,005 und 17,8 Km Steigungen unter 0,0036 haben, kämen in diesen letzten Strecken Kurven von insgesammt 360° Centriwinkel und in den schädlichen Steigungen von insgesammt 400° Centriwinkel vor, so würde nach § 11 die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr:

$$s_1 = \frac{1}{42{,}8}\left\{0{,}0036 \cdot 17{,}8 + 0{,}178 + 0{,}000018\,(2 \cdot 360 + 400)\right\} = 0{,}00613$$

und für den Personenverkehr:

$$s_{11} = \frac{1}{42{,}8}\left\{0{,}0055 \cdot 19{,}8 + 0{,}168 + 0{,}000018\,(2 \cdot 360 + 400)\right\} = 0{,}00694$$

wobei die durch die schädlichen Steigungen erstiegenen Höhen mit bezw. 0,178 und 0,168 Km eingesetzt sind.

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten sind mithin:

$$K = \frac{400000}{100}(0{,}56 + 23^1/_3 \cdot 0{,}008 + 39^2/_3 \cdot 0{,}00613)\ 42{,}8$$
$$+ \frac{250000}{100}(0{,}967 + 10^2/_3 \cdot 0{,}008 + 29^1/_3 \cdot 0{,}00694)\ 42{,}8$$
$$+ 3000 \cdot 42{,}8 = 432280 \text{ Mk.}$$

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten sind also auf der Trafse mit gebrochener Steigung um 432280 — 379516 = 52764 Mk. theurer als auf der Linie mit einheitlicher gebundener Steigung. Wird gemeinsam mit dieser Theilstrecke noch eine weitere Erstreckung von 30 Km Länge betrieben, so wachsen auf dieser in Folge der Vergrößerung der maßgebenden Steigung von 0,0052 auf 0,008 die Betriebskosten um:

$$K_1 = \frac{1}{100}(400000 \cdot 39^2/_3 + 250000 \cdot 29^1/_3)(0{,}008 - 0{,}0052)$$
$$30 = 19488 \text{ Mk.}$$

Im Ganzen stellt sich dann die Mehrausgabe an Betriebs- und Unterhaltungskosten auf 52764 + 19488 = 71252 Mk., welche also eine Ersparung an Baukosten von mehr als $\frac{71252}{0{,}04} = 1\,781\,300$ Mk. gegenüberstehen müfste, wenn die in Frage gezogene Abweichung von der einheitlichen Steigung gerechtfertigt sein sollte.

Eine bei Weitem freiere Verfügung über die Anordnung der Steigungsverhältnifse hat man in denjenigen Theilstrecken der Bahnlinie, für welche die maßgebende Steigung bereits durch die Trafsirung anderer Theilstrecken bestimmt ist. Abgesehen von den horizontal oder höchstens mit einer Längenneigung von 1 : 400 anzulegenden Stationen, sind nach den in § 27 entwickelten Grundsätzen, die Steigungsverhältnifse für die

ganze Länge der Bahnlinie entweder als schädliche oder umgekehrt überall als unschädliche anzuordnen. Falls die zu ersteigende Höhe und die Länge der Bahnlinie die ausschliefsliche Verwendung unschädlicher Steigungsverhältnifse gestatten, welche mit Rücksicht auf den Güterverkehr also kleiner als 0,0036 sein müssen, sind auch Gegensteigungen zuläfsig. Im umgekehrten Falle, wenn ausschliefslich schädliche Steigungen angeordnet werden müssen, welche zwischen der mafsgebenden Steigung und dem Grenzwerthe der unschädlichen Steigungen des Personenverkehrs von 0,0055 zu halten sind, müssen aber sämmtliche Steigungsverhältnifse in der gleichen Richtung ansteigen.

Unter Einhaltung dieser Regel wird man die Steigungsverhältnifse so wählen, dafs die Baukosten möglichst gering werden, wobei die durch die Wasserverhältnifse und die Wegeübergänge gebotene Höhenlage zu berücksichtigen und allzu häufige Gefällwechsel zu vermeiden sind.

Zuweilen kann aber durch eine Abweichung von der erwähnten Regel eine Ersparung an Baukosten erreicht werden, welche die dadurch enststehende Vergröfserung der Betriebskosten übertrifft. Würde z. B. in einem Linienzuge, in welchem nur unschädliche Steigungen verwendet werden sollen, auf eine Strecke von 2 Kilometer Länge eine Steigung von 0,0045 verwendet, so würde für den Personenverkehr zwar noch keine Vergröfserung der Betriebskosten entstehen, wohl aber für den Güterverkehr eine Vermehrung um $39^2/_3 \cdot (0{,}0049 - 0{,}0036)\, 2 = 0{,}0714$ Pfg., für jede Tonne, also bei einem Verkehr von 400000 Tonnen Nutzlast eine Betriebskosten-Vermehrung von 286 Mk. erwachsen. Die Wahl des Steigungsverhältnifses von 0,0045 würde also vortheilhaft sein, wenn dadurch im Vergleich zur Durchführung einer Steigung von 0,0036 nur $\frac{286}{0{,}04} =$

7150 Mk. an Baukosten gespart würden. Ginge man mit der Steigung bis 0,006, so würde auch für den Personenverkehr eine Vermehrung der Betriebskosten eintreten und bei einem Verkehr von 250000 Personen die Betriebskosten-Vermehrung auf:

$$\frac{1}{100} \cdot 400000 \cdot 39^2/_3\ (0{,}006 - 0{,}0036)\ 2 + \frac{1}{100} \cdot 250000 \cdot 29^1/_3\ (0{,}006 - 0{,}0055)\ 2 = 835 \text{ Mark}$$

anwachsen, zu deren Rechtfertigung eine Ersparung an Baukosten von 20875 Mark erforderlich wäre.

Würde in einem anderen Falle, wo die Trafse durchweg mit schädlichen Neigungen durchgeführt werden müfste, eine Strecke von einem Kilometer Länge mit einer Steigung von 0,004 angeordnet, so würde für den Güterverkehr noch keine Kostenvermehrung entstehen, der Personenverkehr aber um

$$29^1/_3 \cdot (0{,}0055 - 0{,}004) = 0{,}044 \text{ Pfg.}$$

für jede Person theurer werden. Bei Anwendung einer Steigung von 0,003 würde die Kosten-Vermehrung für die Person auf $29^1/_3\ (0{,}0055 - 0{,}003) = 0{,}073$ Pfg. wachsen und auch für die Nutztonne eine Betriebskosten-Vermehrung von $39^2/_3\ (0{,}0036 - 0{,}003) = 0{,}0238$ Pfg. entstehen.

Bei der weitern, ins Einzelne gehenden Bearbeitung der Trafse können aber auch Grundrifsverlegungen und mithin Aenderungen der Krümmungsverhältnifse und der Länge der Linie aus den bereits bei der Trafsirung im Flachlande erwähnten Rücksichten auf den Grunderwerb, die Bodenbeschaffenheit, die Wege-Uebergänge und die Wasserläufe in Frage kommen. In allen diesen Fällen ist zur Entscheidung über die Wahl der verschiedenen hierbei in Frage kommenden Strecken der Trafse für jede derselben die Summe der Betriebskosten, der Unterhaltungskosten und der Zinsen des

Anlagekapitals zu bilden, wie im folgenden Beispiele gezeigt werden soll.

Für eine Bahn, deren Verkehrsmenge 400000 Tonnen Nutzlast und 250000 Personen beträgt, deren Unterhaltungskosten 3000 Mark für den Km sind, und welche eine maßgebende Steigung $s = 0{,}01$ hat, kommen zwischen zwei Punkten zwei verschiedene Trafsen A und B in Frage, von welchen die Linie A ein Anlagekapital von 600000 Mark, die Linie B ein solches von 540000 Mark erfordert. Die Linie A hat 2,5 Km Länge, wovon 2 Km in gerader Linie mit 0,009 Steigung liegen, also eine Steigungshöhe von 0,018 Km erreichen, und 0,5 Km, in welchen eine Kurve von 30° Centriwinkel vorkommt, horizontal sind. Die gleichwerthige Steigung dieser Linie für den Güterverkehr ist:

$$s_{II} = \frac{1}{2{,}5}\left(0{,}5 \cdot 0{,}0036 + 0{,}018 + 0{,}000018 \cdot 2 \cdot 30\right)$$
$$= 0{,}00835$$

und für den Personen-Verkehr:

$$s_{II} = \frac{1}{2{,}5}\left(0{,}5 \cdot 0{,}0055 + 0{,}018 + 0{,}000018 \cdot 2 \cdot 30\right)$$
$$= 0{,}00873.$$

Demnach sind die Betriebskosten:

$$K_I = \frac{1}{100} \cdot 400000\ (0{,}56 + 23^1/_3 \cdot 0{,}01 + 39^2/_3 \cdot 0{,}00835)\ 2{,}5$$
$$+ \frac{1}{100} \cdot 250000\ (0{,}967 + 10^2/_3 \cdot 0{,}01 + 29^1/_3 \cdot 0{,}00873)\ 2{,}5$$
$$= 19558 \text{ Mark.}$$

Fügt man hierzu die Unterhaltungskosten mit 7500 Mark und die Zinsen des Anlagekapitals mit 24000 Mark, so erhält man die Gesammt-Jahreskosten zu 51058 Mark.

Die Linie B hat 3 Km Länge, welche eine Steigung von 0,006 haben und Kurven von 100° Centriwinkelsumme

enthalten. Die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr wie für den Personenverkehr ist daher

$$s_{II} = 1/3\ (0{,}018 + 0{,}000018 \cdot 100) = 0{,}0066.$$

Demnach sind die Betriebskosten:

$$K = \frac{1}{100} \cdot 400000\ (0{,}56 + 23^1/_3\ 0{,}01 + 39^2/_3 \cdot 0{,}0066)\ 3$$

$$+ \frac{1}{100} \cdot 250000\ (0{,}967 + 10^2/_3\ .\ 0{,}01 + 29^1/_3\ .\ 0{,}0066)\ 3$$

$$= 22166 \text{ Mark.}$$

Fügt man hierzu die Unterhaltungskosten mit 9000 Mark und die Zinsen des Anlagekapitals mit 21600 Mark, so erhält man die Gesammt-Jahreskosten zu 52766 Mark.

Die Linie *B* ist also um einen Jahresbetrag von 1,612 Mark unvortheilhafter als die Linie *A*.

§ 34.

Beurtheilung der Bauwürdigkeit zweier zur Wahl stehenden Trafsen im Hügellande.

In Ergänzung der Erörterungen im vorhergehenden § 33 mag noch ein, der Wirklichkeit entnommenes Beispiel berechnet werden.

Für die Zweigbahn Sarnau-Frankenberg, welche im Jahre 1888 dem Betriebe übergeben werden wird, kamen zwei Linien in Frage. Diese normalspurige Lokalbahn soll nur von gemischten Zügen befahren werden, für welche die Betriebskosten der Güterzüge auf Hauptbahnen in Rechnung gebracht werden können. Der Verkehr wird voraussichtlich in der ersten Zeit nicht mehr als 300000 Tonnen Rohlast jährlich betragen; man wird aber mit Rücksicht auf die zu erwartende allmähliche Zunahme des Verkehrs, nach den in Heft I der Theorie des Trafsirens § 12 über das Normalbetriebsjahr

gegebenen Erläuterungen eine Normal-Betriebsmenge von 400000 Tonnen schätzungsweise zu Grunde legen können.

Die eine der in Frage kommenden Linien hat eine äufserste Steigung von 1 : 60 bei Krümmungshalbmessern von 300 m, also eine mafsgebende Steigung $s = 0{,}0166 + 0{,}0033 = 0{,}02$. Von der ganzen Länge, welche 26,14 Km beträgt, liegen 10,9 Km in unschädlicher Steigung; die übrigen Strecken mit schädlicher Steigung ersteigen eine Höhe von 0,1879 Km. In den Strecken mit unschädlicher Steigung kommen Kurven mit einer Centriwinkelsumme von 722° vor, in den Strecken mit schädlicher Steigung Kurven von 918° Centriwinkelsumme. Die gleichwerthige Steigung der Linie ist daher:

$$s_{11} = \frac{1}{26{,}14}\{0{,}0036 \cdot 10{,}9 + 0{,}1879 + 0{,}000018\,(2 \cdot 722 + 918)\} = 0{,}0103$$

und die Betriebskosten sind:

$$K = 26{,}14 \cdot \frac{1}{100} \cdot 400000\,(0{,}24 + 10 \cdot 0{,}02 + 17 \cdot 0{,}0103) = 64315 \text{ Mk.}$$

In der zweiten Linie ist die steilste Steigung 1 : 53, so dafs bei Kurven von 300 m Halbmesser die mafsgebende Steigung $s = 0{,}01887 + 0{,}00333 = 0{,}0222$ ist. Von der ganzen Länge, welche 26 Km beträgt, liegen 12 Km in unschädlicher Steigung und durch die übrigen Strecken mit schädlicher Steigung wird eine Höhe von 0,1931 Km erstiegen. Die Kurven in unschädlicher Steigung haben 699° Centriwinkelsumme, die Kurven in schädlicher Steigung 956°. Die gleichwerthige Steigung dieser Linie ist daher:

$$s_{11} = \frac{1}{26}\{0{,}0036 \cdot 12 + 0{,}1931 + 0{,}000018\,(2 \cdot 699 + 956)\} = 0{,}0107$$

und die Betriebskosten sind:

$$K = 26 \cdot \frac{1}{100} \cdot 400000\,(0{,}24 + 10 \cdot 0{,}0222 + 17 \cdot 0{,}0107)$$
$$= 66966 \text{ Mk.}$$

Der Betrieb dieser Linie mit steilerer Steigung ist also um 66966 — 64315 = 2651 Mk. theurer als der der ersten Linie; da sie aber um 0,14 Km kürzer als die erste ist, so sind die Bahn-Unterhaltungskosten etwas geringer, so dafs mit Rücksicht hierauf die Mehrkosten des Betriebes nur mit 2400 Mk. in Ansatz gebracht werden sollen. Da diese Linie mit steilerer Steigung in den Anlagekosten aber um 110000 Mk., also um einen jährlichen Zinsenbetrag von 4400 Mk. billiger als die andere Linie mit Steigungen von 1 : 60 ist, so ist sie um einen Jahresbetrag von 4400 — 2400 = 2000 Mk. günstiger und verdient daher den Vorzug.

Die Entscheidung kann aber anders ausfallen, wenn man in Berücksichtigung zieht, dafs in Zukunft eine Verlängerung der Bahn in Aussicht steht, für welche die gröfseste Steigung der in Betrachtung stehenden Strecke ebenfalls zur mafsgebenden Steigung wird.

Wäre nach 6 Jahren eine Verlängerung der Bahn um 25 Km und in Folge dessen eine Vermehrung des Verkehrs auf der ganzen Linie auf 500000 Tonnen Rohlast oder um 100000 Tonnen zu erwarten, so würde der Minderbetrag der Betriebskosten auf der Linie mit Steigungen von 1 : 60 sich um ¼ von 2651 Mk., also um 663 Mk. erhöhen. Auf der 25 Km langen Verlängerung würden die Betriebskosten, wenn die mafsgebende Steigung 0,02 anstatt 0,0222 wäre, für jeden Tonnen-Kilometer der Rohlast 10 (0,0222 — 0,02) = 0,022 Pfg. geringer sein, also im Ganzen um $25 \cdot 500000 \cdot 0{,}022 \cdot \frac{1}{100} = 2750$ Mk. Nach Ausführung der Verlängerung der

Bahn würde man also bei der Wahl der Linie mit Steigungen von 1 : 60 im Ganzen an Betriebskosten 2400 + 663 + 2750 = 5813 Mk. sparen, also nach Abzug der Zinsen des Mehraufwandes an Neubaukosten noch 5813 — 4400 = 1413 Mk. jährlich an Ausgabe sparen.

Bis zur Fertigstellung der Bahnverlängerung würden bei der Wahl der Linie mit Steigungen von 1 : 60 aber im Vergleich zu der anderen Linie mit Steigungen von 1 : 53 jährlich 2000 Mk. eingebüfst, was mit Zinsen und Zinseszinsen in 6 Jahren einen Verlust von $2000 \left(\frac{1{,}04^{6} - 1}{0{,}04}\right) = 13420$ Mk. erzielt, dessen Jahreszinsen mit 537 Mk. von dem später eintretenden Vorzuge abzuziehen sind, so dafs für die Linie mit Steigungen von 1 : 60 ein Vortheil von 1413 — 537 = 877 Mk. jährlich verbleibt.

Würde die Verlängerung der Bahn aber erst nach 14 Jahren zur Ausführung gebracht, so würde der jährliche Verlust für die Linie mit Steigungen von 1 : 60 bis dahin zu einem Kapitale von rund 36000 Mk. angewachsen sein, dessen Zinsen den dann eintretenden Vortheil dieser Linie übertreffen, so dafs die Wahl der Linie mit Steigungen von 1 : 53 günstiger gewesen sein würde.

Die Entscheidung über die Wahl der Trafse hängt, ganz abgesehen von der Unsicherheit bei der Schätzung des zu erwartenden Verkehrs, wie dies Beispiel zeigt, oft von Umständen ab, über welche nur nach Muthmafsungen Annahmen gemacht werden können.

§ 35.

Trafsirung im Gebirge.

Im Gegensatz zu der Trafsirung im Hügellande, in welchem der Längenzug der Thäler zu Umwegen nöthigt, zu deren Abkürzung oft die Aufwendung erhöhter Anlagekosten gerecht-

fertigt ist, sind im Gebirge die Thäler häufig so kurz, dafs zur Erreichung zweckmäfsiger Steigungsverhältnifse eine, den Thalzug an Länge übertreffende Linie gesucht werden mufs. Aufserdem sind die Klima- und Wetterverhältnifse, welche im Hügellande nur ausnahmsweise einen Einflufs auf die Lage der Trafse äufsern, im Gebirge oft von wesentlicher Bedeutung für die Trafsirung.

Handelt es sich um die Erreichung eines Ortes im Gebirge, zu welchem man ohne Ueberschreitung einer Wasserscheide gelangen kann, so bildet, da die zu ersteigende Höhe gegeben ist, die erste und wichtigste Aufgabe die Bestimmung des zweckmäfsigsten Steigungsverhältnifses. In den meisten Fällen ist aber das Gebirge zu überschreiten. Dann ist, im Zusammenhange mit der Bestimmung der günstigsten Lage und Steigung der beiderseitigen Zugangsrampen, zunächst die zweckmäfsigste Durchbrechung der Wasserscheide nach Grundrifs und Höhenlage zu suchen. Stehen mehrere Uebergangspunkte der Wasserscheide zur Wahl, so mufs unter diesen derjenige Pafs gesucht werden, welcher die Vorzüge geringer Höhe, geringer Durchbrechungslänge, bequemer Bodenbeschaffenheit, günstigster klimatischer Verhältnisse vereinigt und dessen Zugangsthäler für die Anlage der Zugangsrampen die besten Bedingungen bieten sowie in ihren unteren Ausgangspunkten der kommerziellen Trafse möglichst nahe liegen.

Zur Beurtheilung der Zugangsthäler kommen in Frage:

1. Die Gestaltung.

a. Das Längengefälle des Thalzuges, welches möglichst wenig von der zu ermittelnden zweckmäfsigsten Steigung abweichen sollte;

b. Die Querschnittsform des Thales, dessen eingrenzende Höhen nicht zu hoch und dessen Hänge nicht zu steil sein sollten.

c. Die Grundrifsform des Thalweges, welche nicht zu scharfe, spitzwinklige Windungen zeigen sollte.

d. Das Vorhandensein von Seitenthälern, welche für eine etwa vorzunehmende Längen-Entwicklung der Trafse gut benutzbar sind.

2. Die Bodenbeschaffenheit.

a. Der Boden sollte möglichst bequem lösbar und nicht zu flache Damm- und Einschnittsböschungen erfordern.

b. Die Gefahr von Rutschungen sollte möglichst gering sein. In dieser Beziehung ist besonders zu beachten, ob Anzeichen früherer Rutschungen vorhanden sind.

c. Steinstürze sollten möglichst wenig vorkommen.

d. Baustoffe, wie Mauersand, Bettungskies, Bruchsteine u. s. w. sollten billig und in guter Beschaffenheit zu haben sein.

3. Die Wasserverhältnifse.

a. Die Gröfse des Flufsgebietes und die jährliche Niederschlagsmenge, woraus Schlüsse auf die Wassermenge zu ziehen sind, welche der Flufs bei Niedrigwasser, bei gewöhnlichem Wasser und bei Hochwasser in der Sekunde abführt.

b. Das Vorhandensein bereits benutzter oder doch nutzbar zu machender Wasserkräfte.

c. Das Vorhandensein von Wildbächen, welche Schuttkegel oder Murgänge bilden.

d. Das Vorhandensein von Wildbächen, welche Wasserschleier oder Staubbäche bilden.

4. Klima- und Wetterverhältnifse.

a. Die Lage der Thalhänge gegen die Sonne.

b. Die Höhe und Dauer der Schneelage.

c. Das Vorkommen von Lawinen.

d. Der durchschnittliche Wärmegrad, besonders während der Wintermonate.

5. Die wirthschaftlichen Verhältnifse.

a. Die wirthschaftliche Benutzung und Ergiebigkeit der Bodenfläche, welche von Einfluſs auf die Kosten des Grunderwerbs und auf die Gröſse des Lokalverkehrs sind.

b. Die Ansiedelungsverhältnifse, welche von Bedeutung für die Gröſse des Lokalverkehrs, für die Anlage der Stationen und für die Unterbringung der Arbeiter während der Bauzeit sind.

c. Die Art der wirthschaftlichen Thätigkeit der Bevölkerung.

d. Die Lage und der Zustand der vorhandenen Wege.

Die richtige Abwägung aller dieser Verhältnifse, welche bei der Auswahl verschiedener für die Trafsirung in Frage kommender Thäler in Berücksichtigung zu ziehen sind, bildet begreiflicherweise eine sehr schwierige, nur bei klarem Urtheil und auf Grund reicher Erfahrung zu lösende Aufgabe. In den meisten der überhaupt nicht häufig vorkommenden Fälle, in welchen eine Auswahl zwischen verschiedenen Thälern zu treffen ist, werden einige der erwähnten Verhältnifse sich von so durchschlagender Bedeutung erweisen, dafs alle übrigen Umstände aufser Berücksichtigung bleiben können. Nur in Ausnahmefällen wird zu endgültiger Entscheidung eine vollständige Bearbeitung einander gegenüber zu stellender Entwürfe nothwendig werden. Dagegen bleiben für die genaue Feststellung der einzelnen Theile der Trafse alle angegebenen Verhältnifse der Thäler von Bedeutung.

Nach Entscheidung über die Wahl der Thalzüge, welche von beiden Seiten zur Ersteigung der Wasserscheide benutzt werden sollen, mufs unter Beachtung der wechselseitigen Beziehungen der Steigungshöhe und der Neigungsverhältnifse

der beiderseitigen Zugangsrampen die zweckmäfsigste Durchbrechungshöhe der Wasserscheide ermittelt werden. Mit der Tieferlegung der Durchbrechungshöhe der Wasserscheide, also mit Verringerung der Steigungshöhe wird nach Gl. 31, § 23 auch das Mafs des zweckmäfsigsten Steigungsverhältnifses der Zugangsrampen kleiner, so dafs im Allgemeinen mit jeder Veränderung der Scheitelhöhe der Trafse auch die Länge und das Steigungsverhältnifs der Zugangsrampen verändert werden müfsen.

Für die Feststellung der Durchbrechungshöhe der Wasserscheide ist häufig der Umstand von entscheidendem Einflufse, dafs die offene Höhenlage der Trafse ihre obere Grenze durch die Erschwerungen des Betriebes in Folge von Schnee und Eis findet.

Die höchste Lage der offenen Trafse in Meereshöhe beträgt bei den Alpenbahnen:

Am Gotthard an der Nordseite	1109 m
Am Gotthard an der Südseite	1145 „
An der Pusterthalbahn	1213 „
An der Mont-Cenis-Bahn	1297 „
An der Brennerbahn	1373 „
Am Arlberg an der Ostseite	1302 „
Am Arlberg an der Westseite	1215 „

Weit erheblichere Meereshöhen werden in anderen Erdtheilen durch Eisenbahnen überschritten. In Central-Amerika hat die Denver- and Rio-Grande-Eisenbahn am La Vata-Pafs 2950 m und am Marshall-Pafs 3430 m Meereshöhe, die Peru-Bolivianische Bahn von Arequipa nach dem Titicaca hat an dem Portes del Cruzera 4470 m und die Lima-Oroya-Eisenbahn die gröfseste durch Eisenbahnen bis jetzt erreichte Meereshöhe von 4778 m.

Die Betriebserschwerungen auf Bahnen in hoher Lage

entstehen aus der verminderten Adhäsion der Triebräder auf den Schienen und aus dem Schneefall. Nach Erfahrungen auf der Kaiser-Ferdinands-Nordbahn, welche Stöckert*) mittheilt, soll bei starker Kälte eine Verminderung der Zugbelastung eintreten müssen, welche bei 0° zu 5 Prozent, bei —5° zu 10 Prozent, bei —10° zu 15 Prozent und bei —15° zu 20 Prozent bemessen werden mufs. Wäre also beispielsweise die mittlere Temperatur während 6 Wintermonaten —6°, so müfste die Zugbelastung im Winter 11 Prozent geringer als im Sommer sein.

Zu diesem Nachtheile kommt noch die Vertheuerung der Bahnunterhaltung durch die Schneeräumungskosten und der Uebelstand häufiger Betriebsstörungen durch starke Schneefälle und Schnee-Verwehungen. In gewisser Höhenlage, welche aber je nach der geographischen Lage sehr verschieden ist, erreichen die Unbilden des Wetters und die daraus entstehenden Erschwerungen, Störungen und Vertheuerungen des Betriebes und der Bahnunterhaltung einen solchen Grad, dafs eine offene Führung der Trafse ausgeschlossen ist.

Aber auch dann, wenn die Wetterverhältnisse eine offene Führung der Trafse noch gestatten sollten, wird man doch ein Gebirge nur ausnahmsweise mittelst eines offenen Einschnitts, wie es beispielsweise am Brenner möglich war, überschreiten können, sondern in der Regel die Wasserscheide mittelst eines Tunnels durchbrechen müssen, um die zweckmäfsigste Höhenlage für den Uebergang zu erhalten.

Bei den Untersuchungen über die zweckmäfsigste Höhenlage dieses Scheiteltunnels wird meistens nur die Wahl zwischen einzelnen, in bestimmten gegebenen Höhenabständen befindlichen Lagen des Tunnels möglich sein und nicht eine be-

*) Die Alternativ-Trafsen der Arlbergbahn von Franz Ritter von Stöckert. Wien 1880.

liebige zwischen diesen Punkten sich haltende Höhenlage angenommen werden können, da die Tunnel-Ausgänge eine genügende Raumentwicklung für die erforderlichen Vorkehrungen zum Bau und meistens auch für die Anlage einer Station bieten und möglichst bequem für den Anschluſs der Zugangsrampen liegen müssen.

Sind für eine der in Frage kommenden Lagen des Scheiteltunnels die Tunnelausgänge A und B nach Grundriſs- und Höhenlage, und somit auch die Tunnellänge AB vorläufig festgestellt, so muſs eine fernere Bestimmung der unteren Endpunkte C und D der Zugangsrampen AC und DB getroffen werden. Es muſs dann ermittelt werden, ob die Stationen, von denen aus der Betrieb der Gebirgsstrecke beginnen soll, nicht über C hinaus noch weiter thalwärts nach E und über D hinaus thalwärts nach F zweckmäſsig zu legen sind. Gemeinsam mit den Rampen CA und DB mit maſsgebender Steigung sind dann noch die Strecken EC und DF sowie die Tunnelstrecke AB von den Zügen in unveränderter Zusammensetzung zu befahren. Die Summe der Längen des Scheiteltunnels und der Strecken EC und DF sei $= l$ und die gleichwerthige Steigung derselben s_{II}. Zu den Höhen h_I und h_{II}, welche durch die Rampen CA und DB mit maſsgebender Steigung zu ersteigen sind, ist dann noch wegen der Ermäſsigung des Steigungsverhältnisses in den Kurven ein Zuschlag zu geben, welcher bei α Grad Centriwinkelsumme dieser Kurven zu $0{,}000018\ \alpha$ bemessen werden muſs. Der zu ersteigenden Höhe ist ein weiterer Zuschlag in Berücksichtigung der in längeren Tunneln vorzunehmenden Verringerung des Steigungsverhältnisses zu geben. Diese Verringerung der Steigung wurde bei der Gotthardbahn für alle Tunnel von mehr als 500 m Länge zu 0,3 Proz. angenommen, würde bei Festhaltung dieser Regel also bei einer Gesammtlänge λ aller

Tunnel, deren Länge 500 m überschreitet, in Kilometern $h_0 = 0{,}003\ \lambda$ betragen. Die rechnungsmäfsig für beide Rampen anzunehmende Steigungshöhe ist hiernach:

$$h = h_{\mathrm{I}} + h_{\mathrm{II}} + 0{,}000018\ \alpha + 0{,}003\ \lambda.$$

Nachdem in solcher Weise die Verhältnifszahl $\frac{l}{h} = m$, ferner die Höhe der kilometrischen Anlagekosten A, der kilometrischen Bahn-Unterhaltungskosten U, die aus der Summe der jährlich zu befördernden Tonnen Nutzlast und Personen gebildete Zahl der Verkehrseinheiten T bestimmt sind, berechnet man nach Formel 31 das zweckmäfsigste Ansteigungsverhältnifs.

Der Zugkraftskoeffizient ist in dieser Rechnung zu 0,1 anzusetzen, wie für Gebirgsbahnen im Allgemeinen als zutreffend angenommen werden kann.

Giebt diese Rechnung, wie ziemlich häufig vorkommen wird, eine so steile Ansteigung, dafs die Rampenlänge kürzer ausfällt als die Länge des Thalzuges ist, welcher den Zugang zum Scheitelpunkte bildet, so verliert die Trafse eines der Merkmale einer Gebirgstrafse, nämlich die Nothwendigkeit einer künstlichen über die Länge des Thalzuges hinausgehenden Längen-Entwicklung, wenn sie auch im Uebrigen den Charakter einer Gebirgstrafse behält.

Es mufs aber hervorgehoben werden, dafs die Berechnung der zweckmäfsigsten Steigung nach Gleichung 31 für die Wahl der Steigung noch nicht ganz entscheidend ist, denn durch diese Gleichung konnten manche Uebelstände, welche eine steilere Steigung besitzt, nicht in Berücksichtigung gezogen werden. Es ist in dieser Beziehung zunächst auf die mit der Steigung wachsende Gefährlichkeit des Betriebes, sodann auf die gröfsere Abnutzung der Schienen und Radreifen durch das stärkere Bremsen hinzuweisen, ferner auf die be-

sonders für den Personen-Verkehr nicht erwünschte Verringerung der Fahrgeschwindigkeit, durch welche die Ausgaben für das Zugpersonal und für Verzinsung des Anschaffungskapitals der Lokomotiven und Tenders, wachsen, welche in der Formel als gleichbleibend für alle Steigungsverhältnifse angenommen wurden. Endlich ist noch zu berücksichtigen, dafs auf steilen Steigungen in Folge des geringen Gewichts der einzelnen Züge eine grofse Anzahl von Zügen nöthig und bei zunehmendem Verkehr früher die Anlage eines zweiten Gleises erforderlich wird.

Da nun die durch Gl. 31 berücksichtigten Verkehrskosten, wie Tabelle XIV zeigt, mit einer Verflachung des Steigungsverhältnisses nur langsam zunehmen, so wird durch die erwähnten, nicht in Rechnung gezogenen Umstände, welche ein steiles Steigungsverhältnifs unvortheilhaft machen, statt des nach Gl. 31 berechneten ein nicht unerheblich flacheres Steigungsverhältnifs zu wählen sein. Aber selbst bei reichlich hoch bemessener Berücksichtigung aller, für eine Verflachung der Steigung geltend zu machenden Umstände wird man sich der Ueberzeugung nicht verschliefsen können, dafs bei vielen, mit starker Längenentwicklung trafsirten Gebirgsbahnen das Steigungsverhältnifs zu flach gewählt wurde. Es kann z. B. die von Gerwig in so interessanter Weise entwickelte Trafse der Schwarzwaldbahn von Offenburg bis Villingen in Bezug auf das gewählte Steigungsverhältnifs von 1 : 55 beinahe als eine Verschwendung bezeichnet werden. Auch die von Hellwag in so meisterhafter Weise durchgeführte Trafse der Gotthardbahn würde gewifs wirthschaftlich richtiger eine steilere Steigung erhalten haben, man hat auch wahrscheinlich nur mit Rücksicht auf den Vertrag, durch welchen ein Steigungsverhältnifs von 1 : 40 vorgeschrieben war, nicht über die Steigungen von 0,026 und 0,027 hinauszugehen gewagt.

Für die nördliche Rampe des Gotthard, welche zwischen den Stationen Erstfeld und Göschenen eine gesonderte Betriebsstrecke bildet, würde sich die zweckmäfsigste Steigung nach Gleichung 31 wie folgt ergeben.

Die Steigungshöhe zwischen der Station Erstfeld und dem Tunneleingange bei Göschenen beträgt 0,6 Km. Nimmt man an, dafs in dieser Strecke Kurven von 2000 ° Centriwinkelsumme vorkommen, so ist wegen der Verminderung der Steigung in den Kurven jene Höhe rechnungsmäfsig um $2000 \cdot 0{,}000018 = 0{,}036$ Km vergröfsert anzunehmen. Kommen ferner im Ganzen 3 Km Tunnel von mehr als je 500 m Länge vor, so ist wegen der in diesen vorzunehmenden Verringerung der Steigung ein weiterer Zuschlag von $0{,}003 \cdot 3 = 0{,}009$ Km zu der Steigungshöhe zu geben, welche sich danach auf $0{,}6 + 0{,}0036 + 0{,}009 = 0{,}0645$ Km stellt.

Da nach dem zu erwartenden Rechnungsergebnifse die mafsgebende Steigung nicht bei der Station Erstfeld zu beginnen braucht, sondern da die Trafse von Erstfeld aus erst auf einige Kilometer Länge dem Thalboden mit schwachen Steigungen folgen kann und da ferner für die Stationen horizontale Strecken anzulegen sind, so ist anzunehmen, dafs aufser den Rampen mit mafsgebender Steigung schätzungsweise noch $l = 6$ Km mit geringen Steigungen vorkommen, auf welchen die gleichwerthige Steigung etwa $s_{II} = 0{,}0044$ sein wird. Die Verhältnifszahl $m = \frac{l}{h}$ ist also $= \frac{6}{0{,}645} = 9{,}3$.

Die kilometrischen Anlagekosten sollen zu 700000 Mk., die kilometrischen Unterhaltungskosten zu 4000 Mk. und die Verkehrsmenge (Summe der Personen und der Tonnen Nutzlast) in Berücksichtigung der allmählichen Zunahme zu 800000 angenommen werden.

Es sei dann ferner der Ladekoeffizient $b = 2^1/_3$, der

Zinsfuſs $i = 0{,}04$, $w = 0{,}0036$, $z = 0{,}1$, $L = 60$, $B_0 = 32$, $a = 25$, so daſs also $B = 32 + 1/2 \cdot 25 \cdot 60 = 107$ ist, ferner $e = 2$ und $f = 0{,}15$.

Die ideale Zugzahl ist daher nach § 23, S. 141:

$$n = \frac{2^1/_3 \cdot 800000 \cdot 0{,}0036}{(0{,}1 - 0{,}0036)\ 60} = 1162$$

und die zweckmäſsigste Ansteigung nach Gl. 31:

$$s = \frac{0{,}1 - 0{,}0036}{1 + \sqrt{\frac{0{,}1}{0{,}0036} \cdot \frac{107 + 9{,}3 \cdot 0{,}0964\,(32 + 1/2 \cdot 25 \cdot 60 \cdot 0{,}008 + \frac{2 \cdot 60}{0{,}1} \cdot 0{,}0964^2)}{107 + \frac{1}{1162}(70000000 \cdot 0{,}04 + 400000 + 0{,}15 \cdot 2^1/_3 \cdot 800000)}}}$$

das ist $s = 0{,}045$.

Bei solchem Steigungsverhältniſs würde die Ersteigung der Höhe von 0,645 Km eine Steigungslänge von 14,33 Km erfordern. Da die Länge des Thalzuges von Erstfeld bis Göschenen 20 Km beträgt, so würden für die Anlage der Stationen und für die in der Nähe des Thalbodens liegende Anfangsstrecke noch 5,67 Km übrig bleiben. Das Ergebniſs der Rechnung, welche unter der Voraussetzung einer künstlichen Längenentwicklung der Steigungslinie geführt wurde, zeigt also, daſs eine solche nicht erforderlich ist, da die Länge des Thalzuges gröſser ist als die bei Durchführung des günstigsten Steigungsverhältniſses erforderliche Länge der Rampe.

Da eine Abkürzung des Thalzuges nicht möglich ist, so wird man nun, nach den in § 33 gegebenen Erörterungen, die Betriebskosten auf das geringste mögliche Maſs bringen, wenn man vom Anfangspunkte bei Erstfeld bis zum Tunneleingange bei Göschenen die Traſse mit einheitlicher Steigung, abgesehen von der in den Kurven und längeren Tunneln vor-

zunehmenden Verminderung der Steigung, aufwärts führt. Unter Berücksichtigung der Einlegung von drei Zwischenstationen mit je 500 m horizontaler Strecke würde man eine Steigung von 0,035 in gerader, offener Strecke mit einer Gesammtlänge der Linie von 20 Km haben durchführen können. Die ausgeführte Trafse hat dagegen bei 28,9 Km Länge eine Steigung von 0,026 auf 24,3 Km Länge und Kurven von 300 m Halbmesser, also eine mafsgebende Steigung von $0{,}026 + \frac{1}{300} = 0{,}0293$.

Die Betriebskosten wie auch die Baukosten der steileren kürzeren Linie würden zweifellos billiger als die der ausgeführten Linie sein.

Für die ausgeführte Linie, in welcher Kurven von etwa 2800° Centriwinkelsumme vorkommen, 0,6 Km mit schädlicher Steigung erstiegen werden und 4,6 Km in unschädlicher Steigung liegen, ist die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr

$$s_{II} = \frac{1}{28{,}9}\left(4{,}6 \cdot 0{,}0036 + 0{,}6 + 0{,}000018 \cdot 2800\right) = 0{,}0231$$

dagegen für eine, mit einer mafsgebenden Steigung von 0,035 trafsirte Linie:

$$s_{II} = \frac{1}{20}\left(1{,}67 \cdot 0{,}0036 + 0{,}6 + 0{,}000018 \cdot 2000\right) = 0{,}0321.$$

Die Betriebskosten für eine Tonne Rohlast sind daher auf der ausgeführten Linie nach Gl. 7, S. 48:

$$k = 28{,}9 \left\{0{,}15 + 2 \cdot 0{,}0293 + \frac{32\,(0{,}0036 + 0{,}0293) + {}^1/_2 \cdot 25 \cdot 0{,}1 \cdot 60\,(0{,}0036 + 0{,}0231)}{60\,(0{,}1 - 0{,}0036 - 0{,}0293)}\right\}$$
$$= 28{,}5 \text{ Pfg.}$$

und auf der Linie ohne Längenentwicklung:

$$k = 20 \left\{ 0{,}15 + 2 \cdot 0{,}035 + \frac{32\,(0{,}0036 + 0{,}035) + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 0{,}1 \cdot 60\,(0{,}0036 + 0{,}0321)}{60\,(0{,}1 - 0{,}0036 - 0{,}035)} \right\}$$

$$= 25{,}6 \text{ Pfg.}$$

Man würde also bei 800000 Tonnen Rohlast der Güterzüge, wie solcher jetzt auf der Gotthardbahn etwa stattfindet, jährlich $800000\ (28{,}5 - 25{,}6) \cdot \frac{1}{100} = 23200$ Mark auf der steileren und kürzeren Linie ersparen. Mit Rücksicht auf die langsamere Fahrgeschwindigkeit und die dadurch wachsenden Kosten für das Zugpersonal und Verzinsung des Anschaffungskapitals der Betriebsmittel mag diese Ersparung nur zu 20000 Mark angenommen werden und die beim Personen-Verkehr eintretende Betriebskosten-Ersparung zur Ausgleichung des Nachtheils der langsameren Fahrgeschwindigkeit ganz aufser Betracht bleiben. Zu der hiernach nur zu 20000 Mark festgestellten Ersparung an Betriebskosten kommt dann noch ein Minderbetrag an Bahn-Unterhaltungskosten mit je 4000 Mark auf den Km, also für 8,9 Km mit rund 35000 Mark, so dafs sich für die kürzere Linie die Ersparung an Betriebs- und Unterhaltungskosten auf jährlich 55000 Mark berechnet.

Die Baukosten der steilern, dem Thalzuge ohne Längenentwicklung folgenden Linie würden in der oberen Strecke von etwa 7 Km Länge, wo sie dem Thalboden näher liegt als die ausgeführte Linie, etwas geringer geworden sein, und auch die unteren 13 Km dieser Linie würden, wenngleich die Trafse hier streckenweise in sehr schwierige und gefährdete Lage am Thalhange würde zu liegen gekommen sein, doch höchst wahrscheinlich billiger geworden sein als die 21,9 Km lange ausgeführte Linie. Mit einer Gesammt-Tunnellänge von 7,3 Km, wie sie die ausgeführte Trafse hat, würde man auch in der steileren Linie wohl alle schwierigen und gefähr-

deten Strecken überwunden haben können. Die kürzere Linie würde aber selbst noch dann vortheilhafter gewesen sein, wenn ihre Baukosten um einen Jahreszinsenbetrag von 55000 Mark höher wären. Ein gegen alle Einwendungen sicheres Urtheil über die Frage der Baukosten kann allerdings erst auf Grund eines genauen Bauplans gewonnen werden. Wenn nun auch, so weit sich ohne solche genauere Bearbeitung beurtheilen läfst, für die nördliche Zugangsrampe des Gotthard ein steileres Steigungsverhältnifs vortheilhafter gewesen wäre und wenn ein solches auch wahrscheinlich ausgeführt worden wäre, wenn in Bezug auf das anzuwendende Steigungsverhältnifs nicht beschränkende Vertragsbestimmungen vorgelegen hätten, so konnte es doch nicht in der Absicht liegen, hier eine alle Umstände erschöpfend berücksichtigende Begutachtung der Gotthardtrafse zu geben, sondern es sollte lediglich an einem hervorragenden Beispiele gezeigt werden, nach welchen Rechnungen und Erwägungen die Ermittlung des zweckmäfsigsten Steigungsverhältnifses einer Gebirgsbahn vorzunehmen ist. Es ist noch zu beachten, dafs bei Durchführung einer steileren Steigung für die Gotthardbahn die Herstellung eines zweiten Gleises, welche übrigens auch schon jetzt trotz der flachern Steigungen vorgenommen werden mufs, früher nothwendig geworden wäre.

Hat die Bestimmung der zweckmäfsigsten Gröfse der mafsgebenden Steigung stattgefunden, so mufs in Untersuchung gezogen werden, ob die vorläufig angenommene Höhenlage der Durchbrechung der Wasserscheide nicht dadurch eine Veränderung erfahren mufs.

Kann die Scheitelhöhe mit der festgesetzten mafsgebenden Steigung s nur durch künstliche Längenentwicklung gewonnen werden, so wird bei Senkung oder Hebung des Scheitels um h Kilometer die Länge jeder der beiden Zugangsrampen um $\frac{h}{s}$

Km kleiner oder gröfser werden. Sind also die Zinsen des Anlagekapitals, die Unterhaltungs- und Betriebskosten für einen Km der Zugangsrampen gleich K, so sind die Kosten der Höhenänderung der Wasserscheiden-Durchbrechung mit dem Betrag $2\frac{Kh}{s}$ in Vergleich zu stellen.

Ein passendes Beispiel der Beleuchtung dieses Falles liefert die Arlbergbahn. Für diese kamen bekanntlich eine obere und eine untere Trafse in Frage, über deren Vorzüge und Nachtheile seiner Zeit ein heftiger Kampf geführt wurde.

Der Verkehr der Arlbergbahn überwiegt in der Richtung von Ost nach West, in welcher die mafsgebende Steigung zu 0,0264 festgestellt war, sehr erheblich den Verkehr von West nach Ost, in welcher dementsprechend das Steigungsverhältnifs zu 0,0314 angeordnet wurde.

Beträgt der Verkehr an Nutzlast in der Nebenrichtung nur die Hälfte desjenigen der Hauptrichtung, ist der Ladungskoeffizient in der Hauptrichtung $b = 2^1/_3$, ist der Zugkraftskoeffizient $z = 0{,}1$, der Widerstandskoeffizient $w = 0{,}0036$, so kann bei einer mafsgebenden Steigung der Hauptrichtung $s = 0{,}0264$ in der Nebenrichtung nach Gl. 12, S. 63 eine Steigung $s_1 = 0{,}0317$ vorkommen. Für die Berechnung der Betriebskosten ist bei einem, in solchem Mafse ungleichen Verkehre der beiden Richtungen dann nach Gl. 16, S. 68 ein Ladungskoeffizient $= \frac{2b}{1+r}$, also $= \frac{2 \cdot 2^1/_3}{1 + 1/_2} = 3^1/_9$ zu Grunde zu legen.

Die Betriebskosten für einen Tonnen-Km der Nutzlast sind also auf der mafsgebenden Steigung nach Gl. 4, S. 44:

$$k = 3^1/_9 \left\{ 0{,}15 + 2 \cdot 0{,}0264 + \frac{32\,(0{,}0036 + 0{,}0264) + {}^1/_2 \cdot 25 \cdot 0{,}1 \cdot 60\,(0{,}0036 + 0{,}0264)}{60\,(0{,}1 - 0{,}0036 - 0{,}0264)} \right\}$$

$$= 3{,}157 \text{ Pfg.}$$

für den Personenverkehr, welcher in beiden Richtungen gleich grofs anzunehmen ist, wird die gröfsere Steigung der Nebenrichtung 0,0314 zur mafsgebenden Steigung, so dafs die Betriebskosten für den Personen-Km auf der mafsgebenden Steigung sind:

$$k = 1^1/_3 \left\{ 0{,}405 + \frac{27\,(0{,}0055 + 0{,}0314) + {}^1/_2 \cdot 25 \cdot 0{,}1 \cdot 54\,(0{,}0055 + 0{,}0314)}{54\,(0{,}1 - 0{,}0055 - 0{,}0314)} \right\}$$

$$= 1{,}9 \text{ Pfg.}$$

Unter Annahme eines Verkehrs von 500000 Tonnen Nutzlast und 300000 Personen sind demnach die kilometrischen Betriebskosten auf der mafsgebenden Steigung:

$$K = \frac{1}{100}\,(500000 \cdot 3{,}157 + 300000 \cdot 1{,}9) = 21485 \text{ Mk.}$$

Unter Hinzufügung der Bahn-Unterhaltungskosten im Betrage von 5000 bis 6000 Mk. erhöht sich dieser Betrag auf rund 27000 Mk.

Die untere Trafse hat einen Scheiteltunnel von 10270 m Länge, dessen Eingänge auf 1215 und bezw. 1302 m Meereshöhe liegen, wogegen die obere Trafse einen Scheiteltunnel von 7000 m Länge hat, dessen Eingänge auf 1382 m und bezw. 1378 m Meereshöhe liegen. Die obere Trafse ist um 5,4 Km, welche in mafsgebender Steigung ansteigen, länger als die untere, so dafs sie an Betriebs- und Unterhaltungskosten um 5,4 · 27000 Mk. = 145800 Mk. theurer als die untere ist. Die obere Trafse hat ferner 3 Stationen mehr als die untere und 7 Km Mehrlänge in offener Strecke, so dafs wegen der Betriebskosten der 3 Stationen und der Mehr-

kosten für Schneeräumung der Mehrbetrag der Betriebs- und Unterhaltungskosten auf rund 160000 Mk. zu veranschlagen ist, welcher bei Anrechnung von 4 Proz. einem Kapitale von 4 Mill. Mk. entspricht.

Stöckert (a. a. O.) berechnet die Mehrkosten für die Anlage der unteren Trafse unter Berücksichtigung des Zinsverlustes während der Bauzeit, welche er für die Zugangsrampen zu 3 Jahren, für den oberen Tunnel zu $4^1/_2$ Jahren und für den unteren Tunnel zu 5 Jahren annahm, auf $2^3/_4$ Mill. Gulden oder rund $4^1/_2$ Mill. Mark.

Die obere Trafse ist hiernach um ein Kapital von 500000 Mk. oder um einen Jahresbetrag von 20000 Mk. vortheilhafter als die untere. Man hat bekanntlich trotzdem der unteren Trafse den Vorzug gegeben, obgleich von Verfechtern derselben ihre Mehrkosten unter Annahme eines geringeren Verkehrs als hier geschehen auf mehr als das Doppelte des hier berechneten Betrages geschätzt wurden, weil man von der offenen Lage in grofser Meereshöhe sehr erhebliche Erschwerungen und häufige Störungen des Betriebes fürchtete.

Diese Befürchtungen haben durch die Erfahrungen im Winter 1888, in welchem selbst auf der unteren Trafse der Betrieb durch den Schnee erhebliche Störungen erlitt, sich in vollem Mafse bestätigt.

Ueber das Mafs der Erschwerungen und Vertheuerungen des Betriebes und des Baues, welche bei Bahnen in grofser Meereshöhe zu erwarten sind, kann begreiflicherweise nur auf Grund eingehender Studien der örtlichen Verhältnifse und reicher Erfahrungen ein zutreffendes Urtheil gewonnen werden. Es ist aber nicht allein die Höhenlage über dem Meeresspiegel, sondern auch die Höhenlage in Bezug auf den Thalboden, welche den Bau und Betrieb oft in solchem Mafse vertheuert, dafs eine durchgreifende Aenderung der Grundsätze, nach

welchen die Trafsirung durchgeführt wurde, in Frage kommen kann, wie die folgenden Erörterungen zeigen.

§ 36.

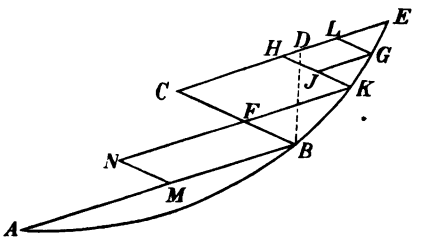
Gebundene oder gebrochene Steigung.

Da die Thäler im Allgemeinen ein von oben nach unten allmählich abnehmendes Gefälle haben, so wird eine einheitliche, etwa mit dem mittleren Gefälle des Thalweges von der Wasserscheide abwärts geführte Gefälllinie, anfangs sich immer mehr von der Thalsohle entfernen, in einem gewissen Punkte den gröfsten Höhenabstand über dieser erreichen, von hier aus abwärts sich dem Thalboden allmählich wieder nähern und endlich in denselben einlaufen.

Bei Unregelmäfsigkeiten im Längengefälle des Thalweges, wie sie bereits im § 1 erwähnt wurden, kann es vorkommen, dafs eine einheitliche Neigungslinie in einzelnen Strecken eine tiefere Lage als der Thalweg erhalten würde und in einem, tiefer als das Flufsbett liegenden Tunnel durchgeführt werden müfste. Wenn nun auch in manchen Fällen die Ausführung eines solchen Tunnels keine aufsergewöhnlichen Schwierigkeiten bieten sollte, so würden in andern Fällen sich doch die Erschwerungen durch den Wasserzudrang bis zur Unausführbarkeit steigern. Man wird aber die Lage der Trafse unterhalb des Flufsbettes meistens schon wegen der Höhe der Anlagekosten zu vermeiden haben. Derjenige Punkt des Thalweges, welcher den gröfsten Höhenabstand über einer, mit einheitlicher Neigung durchgeführten Trafse haben würde, wird dann als technischer Festpunkt für die Höhenlage der Trafse angenommen. Der obere Ausgangspunkt der Dazio-Schlucht im Tessinthale, in der südlichen Zugangsrampe des Gotthard, bildet beispielsweise einen solchen Punkt.

Es sei nun A (Fig. 18) der untere Ausgangspunkt einer im Thale aufwärts zu führenden Bahn, E der obere Endpunkt derselben, und zwar entweder der Scheitelpunkt oder auch irgend ein technischer Festpunkt für die Höhenlage der Trafse. Ist nun das als zweckmäfsig erachtete Neigungsverhältnifs flacher als das mittlere Steigungsverhältnifs des Thales zwischen A und E, so mufs eine Längen-Entwicklung der Trafse nach einer der in § 37 beschriebenen Weisen vorgenommen werden. Bei Bestimmung der für die Trafse erforderlichen Länge mufs, wie bereits früher erwähnt, auf die Verminderung der Steigung in den Stationen, in den Kurven und Tunnels Rücksicht genommen werden.

Fig. 18.



Schneidet die vom untern Ausgangspunkte A ansteigende einheitliche Steigungslinie bei B in den Thalweg und verläuft die vom oberen Endpunkte E nach unten geführte einheitliche Steigung nach der Linie EDC, so ist der lothrechte Höhenabstand DB zwischen beiden das Mafs, aus welchem die erforderliche Längenentwicklung leicht gefunden wird. Diese kann an einer einzigen Stelle durch die Entwicklungslinie BCD oder an mehreren passend gewählten Punkten nach den Linien $BFKE$ oder $BFKIGLE$ oder $AMNKHE$ u. s. w. geschehen. Im Allgemeinen ist es zweckmäfsig, die Längenentwicklung an demjenigen Punkte vorzunehmen, wo die von unten ansteigende Linie in den Thalweg einschneidet und an einer einzigen Stelle nicht in zu beträchtlichem Mafse, um

mit der Trafse nicht zu hoch über die Thalsohle zu gelangen.

Ein grofser Höhenunterschied zwischen der Trafse und der Thalsohle ist aus mannigfachen Gründen nicht erwünscht, wenngleich der Grunderwerb in höheren Lagen in der Regel billiger als in der Nähe des Thalbodens ist. Als Uebelstände einer grofsen Höhenlage der Trafse über der Thalsohle sind zu nennen:

1. Die Entfernung von den meistens in oder nahe dem Thalboden belegenen Ortschaften, wodurch für diese der Zugang zu den Stationen erschwert wird.

2. Die Entfernung von der meistens in der Nähe der Thalsohle liegenden Strafse, wodurch die Heranschaffung der Baustoffe erschwert wird.

3. Das meistens in höherer Lage stärkere Quergefälle des Thalhanges, wodurch die Erdarbeiten vergröfsert werden.

4. Die meistens unregelmäfsigere Gestaltung des Längenschnitts der Bodenlinie, wodurch häufigere Krümmungen und stärkere Erdarbeiten erforderlich werden.

5. Die gröfsere Gefährdung des Betriebes durch Steinstürze, Lawinen und Staubbäche.

6. Die Erschwerung der Trafsirung durch Schuttkegel oder Murgänge der Wildbäche.

7. Die Erschwerung des Betriebes durch den ungünstigeren Reibungswiderstand der Schienen in Folge von Thau- und Nebelbildung und häufigen Glatteises.

Liegt die Trafse nicht im Thalboden, in genügendem Abstande von dem Fufse der Thallehne, aufserhalb des Bereiches der Schuttkegel der Wildbäche, des Sprühregens der Staubbäche, des Niederganges der Lawinen und Steinstürze, sondern am Thalhange, so giebt es im Hochgebirge kaum ein anderes Mittel, die Gefahren der Lawinen, Steinstürze und

Staubbäche zu vermeiden, als die Bahn in die Bergwand zu legen und durch Tunnel unter den bedrohten Stellen durchzuführen. Die Schuttkegel lassen sich, wenn sie nicht zu tief unter ihrer obern Spitze geschnitten werden, in einer einzigen Oeffnung überbrücken. Werden sie aber in tieferer Lage geschnitten, so wird eine Unterfahrung derselben durch einen Tunnel zweckmäfsiger, welcher in der Regel in den gewachsenen Boden der Thallehne gelegt werden mufs und nur ausnahmsweise*) in einem, durch die Schuttmasse gelegten Einschnitte eingewölbt werden kann.

In einzelnen Fällen können bei Einhaltung einer gleichmäfsigen gebundenen Steigung und der daraus folgenden beträchtlichen Höhenlage der Trafse über der Thalsohle die Erschwerungen und Vertheuerungen für den Bau und Betrieb so grofs werden, dafs es vortheilhafter wird, die Durchführung der gebundenen Trafse ganz aufzugeben. Statt, wie bei Festhaltung der gebundenen Steigung geschieht, für das als zweckmäfsig erkannte Steigungsverhältnifs die diesem am besten sich anpassende Bodenlinie zu suchen, stellt man als leitenden Gedanken auf: vor Allem eine günstige Bodenbeschaffenheit in der Nähe der Thalsohle zu suchen, mit der Trafse den Thalboden so lange einzuhalten, als ohne Ueberschreitung der zuläfsig erachteten gröfsesten Steigung und kleinsten Krümmung nur irgend möglich ist und den Ausgleich der Höhenunterschiede durch Längen-Entwicklung der Trafse erst dort vorzunehmen, wo durch die natürliche Gestaltung des Bodens die Fortsetzung der Steigungslinie unter günstigen

*) Vergl. Kowatsch, Beiträge zu Trafsestudien über Eisenbahnanlagen im Bereiche von Schuttkegeln. Wien 1881. Verlag von R. von Waldheim.

Verhältnifsen in der Nähe des Thalbodens nicht mehr durchführbar ist. Man hält auf solche Weise die Trafse auf einen gröfseren Theil ihrer Länge in solcher Nähe am Thalboden, dafs weder durch die Bodengestaltung noch durch Naturereignifse für den Bau aufsergewöhnliche Schwierigkeiten entstehen und für den Bestand der Bahn wie für den Betrieb eine genügende Sicherheit gewonnen wird. Erst da, wo eine stärkere Ansteigung des Thalweges der Fortführung der Trafse in der Richtung des Thalzuges halt gebietet, wird zu künstlicher Längen-Entwicklung geschritten.

Diese leitenden Gedanken hat Hellwag in seinem, durch Kürze und Klarheit der Darstellung ausgezeichneten „Berichte über die Ausmittlung der Bahnachse und des Längenprofils der Gotthardbahn*) für die Trafsirung der Gotthardbahn aufgestellt und zur Ausführung gebracht.

Es ist klar, dafs man bei einer solchen Trafsirung mit gebrochener Steigung, bei welcher man in möglichster Nähe des Thalbodens der allgemeinen Richtung des Thalwegs mit wechselnder, der Bodengestaltung angepafsten Steigung in allen Strecken folgt, in welcher das Steigungsverhältnifs des Thalweges die mafsgebende Steigung nicht überschreitet, auf der in solcher Weise festgelegten Strecke der Trafse die Gelegenheit versäumt, das Mafs an Steigungshöhe zu gewinnen, welches bei gebundener Durchführung der mafsgebenden Steigung auf diese Länge erreichbar gewesen wäre. Da das so Versäumte in der mit der mafsgebenden Steigung vorgenommenen Längen-Entwicklung nachgeholt werden mufs, so entsteht im Vergleich zur Trafsirung mit gebundener Steigung eine Verlängerung der Bahn.

Die aus der Verlängerung der Bahn entstehende

*) Zürich, Verlag von Zürcher und Furter. 1876.

Vergröfserung der Betriebskosten mufs durch die Ersparung an Baukosten gedeckt werden, wenn die Abweichung von der gebundenen Steigung gerechtfertigt sein soll.

Als Beispiel möge die südliche Zugangsrampe des Gotthard-Tunnels in Betrachtung gezogen werden.

Das Tessinthal hat von der Station Biasca, welche 296 m über Meer liegt, bis zum Eingange des Scheiteltunnels bei Airolo in 1145 m Meereshöhe eine Länge von 36 Kilometern, so dafs unter Berücksichtigung der horizontalen Strecken in den Stationen und der Ermäfsigung der Steigung in den Kurven und in längeren Tunneln eine mafsgebende gebundene Steigung von 0,0026 bis 0,0027 sich ohne künstliche Verlängerung des Thalzuges würde durchführen lassen. Diese gebundene Steigung würde aber in und oberhalb der Dazio-Schlucht auf längere Erstreckung unter das Flufsbett des Tessin in sehr zerklüftetes Gestein gekommen sein, so dafs der obere Ausgang der Dazio-Schlucht mit 940 m Meereshöhe als ein technischer Festpunkt für die Höhenlage der Trafse angenommen werden mufs. Von hier aufwärts folgt die Trafse dem Thalwege und steigt ohne künstliche Verlängerung, anfangs sehr schwach, später mit 0,0026 bis zum Eingange des Scheiteltunnels. In der unteren Strecke folgt die Trafse von Biasca ab auf etwa 12 Kilometer Länge mit wechselnder Steigung und mit einer gröfsten Steigung von 0,0027 dem Thalwege, ersteigt dann durch Längen-Entwicklung in zwei Wendelsteigen das obere Ende der oberhalb Giornico belegenen Stromschnellen des Tessin, folgt darauf wieder in der Nähe der Thalsohle dem Laufe des Thales auf etwa 7 Kilometer Länge und ersteigt endlich wieder in zwei Wendelsteigen den oberen Endpunkt der Dazio-Schlucht. In der ganzen südlichen Zugangsrampe finden künstliche Längenentwicklungen

nur an den beiden Thalstufen bei Dazio und oberhalb Giornico statt, durch welche eine Steigungshöhe von zusammen 0,27 Kilometer genommen wird, während die Trafse auf 34 Kilometer Länge der Richtung des Thalweges folgt. Da in der Längen-Entwicklung Kurven von zusammen etwa 1500° Centriwinkel und Tunnel von etwa 6 Kilometer Länge vorkommen, in welcher die Steigung um 0,003 ermäfsigt werden soll, so ist für die durch Längen-Entwicklung zu ersteigende Höhe in Rechnung zu bringen: $h = 0{,}27 + 0{,}000018 \cdot 1500 + 6 \cdot 0{,}003 = 0{,}315$. Das Verhältnifs der ohne Längen-Entwicklung zu durchfahrenden Länge $l = 34$, deren gleichwerthige Steigung zu 0,018 sich ergiebt, zu dieser Höhe ist daher $\frac{34}{0{,}315} = 108$.

Berücksichtigt man, dafs die kilometrischen Anlagekosten für die Längen-Entwicklung etwa 1000000 Mk. betragen und setzt diesen Werth mit 100 Mill. Pf. für A in Gleichung 31 ein, ferner $m = 108$ und $s_{II} = 0{,}018$, behält im Uebrigen aber die in § 35, S. 233 für die nördliche Zugangsrampe des Gotthardtunnels festgestellten Zahlenwerthe bei, so giebt Gleichung 31 als vortheilhaftestes Steigungsverhältnifs für die Längenentwicklung $s = 0{,}030$. In Kurven von 300 m Halbmesser mufste diese Steigung um 0,0033 und, falls diese Kurven in Tunneln liegen, ferner um 0,003 ermäfsigt, also auf 0,0237 festgestellt werden. In den Tunneln der Wendelsteigen ist ein Steigungsverhältnifs von 0,023 vorhanden, also fast genau die günstigste Anordnung getroffen.

Die Betriebskosten für eine Tonne Rohlast berechnen sich für die ausgeführte Trafse zwischen Biasca und Airolo, deren Länge 45 Kilometer, deren gleichwerthige Steigung $s_{II} = 0{,}02$ und deren mafsgebende Steigung $s = 0{,}03$ ist (0,027 Steigung mit 300 m Krümmungshalbmesser) zu:

$$K = 45 \left\{ 0{,}15 + 2 \cdot 0{,}03 + \frac{32\,(0{,}0036 + 0{,}03)}{60\,(0{,}1 - 0{,}0036 - 0{,}03)} + \frac{1}{2} \cdot \frac{25 \cdot 0{,}1 \cdot 60\,(0{,}0036 + 0{,}02)}{60\,(0{,}1 - 0{,}0036 - 0{,}03)} \right\} = 41{,}6 \text{ Pfg.}$$

Hätte man statt der gebrochenen, der Thalsohle möglichst angeschmiegten Steigung von der Dazio-Schlucht nach abwärts in der Thallehne eine gebundene Steigung durchgeführt, so hätte man bei Einhaltung der maßgebenden Steigung von 0,03 mit der Länge des Thalzuges auskommen können und die Länge der Trafse auf 38 Kilometer, also im Vergleich mit der ausgeführten Linie um 7 Kilometer abkürzen können. Die Betriebskosten hätten dann für eine Tonne Rohlast um 35,1 Pfg. betragen, also um 6,5 Pfg. weniger. Bei der in Rechnung gestellten Normalverkehrsmenge von $2^1/_3 \cdot 800000$ Tonnen Rohlast ergiebt dies eine jährliche Ersparung an Betriebskosten von rund 120000 Mk. Läfst man die Bahn-Unterhaltungskosten aufser Betracht, indem man annimmt, dafs die kürzere Linie wegen ihrer höheren Lage am Thalhange die gleichen Bahnunterhaltungskosten wie die um 7 Km längere, zur Ausführung gekommene Linie erfordert haben würde, so konnten die Baukosten der 38 Km langen Trafse mit gebundener Steigung doch noch um $\frac{120000}{0{,}04} = 3000000$ Mk. theurer sein als die der ausgeführten 45 Km langen Bahnlinie mit gebrochener Steigung.

Wenn nun in dem vorliegenden Falle, in welchem nach Hellwag's Angaben die Durchführung der Linie mit gebundener Steigung bis zur Unausführbarkeit sich steigernde Schwierigkeiten bot, die Trafsirung mit gebrochener Steigung gerechtfertigt war, so wird doch nur in seltenen Fällen eine Abweichung von der gebundenen Steigung vortheilhaft sein.

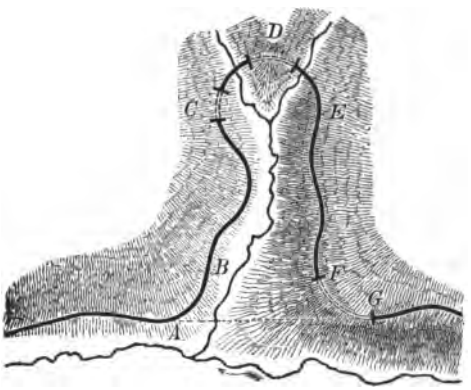
§ 37.

Die Längen-Entwicklung der Trafse.

Die zur Erreichung eines flachen Steigungsverhältnifses vorzunehmende Längen-Entwicklung der Trafse kann je nach der Bodengestaltung und Bodenbeschaffenheit auf verschiedene Weise bewirkt werden, und zwar durch Ausfahren von Seitenthälern, durch Schleifenbildung, durch Wendesteigen und durch Spitzkehren.

1. Beim Ausfahren eines Seitenthals (Fig. 19)

Fig. 19.



verläfst die Trafse bei *A* das Hauptthal und steigt in der Linie *ABCD* in einem Seitenthale aufwärts, kehrt von *D* in der Linie *DEFG* im Seitenthale zurück und steigt dann von *G* aus im Hauptthale weiter aufwärts. An Entwicklungslänge ist der Längen-Unterschied des Bogens *ABCDEF* und der Sehne *AG* gewonnen. Die Einkehre in das Seitenthal bei *B*, die Umkehre im Seitenthale bei *D* und die Rückkehre in das Hauptthal bei *F* können meistens nur mit dem kleinsten zulässigen Krümmungshalbmesser unter entsprechender Ermäfsigung des Steigungsverhältnifses bewirkt werden. Eine weitere Einschränkung des erreichbaren Gewinnes an Steigungs-

höhe tritt ein, wenn die Einkehre, Umkehre oder Rückkehre längere Tunnelanlagen erfordert, in welchen das Steigungsverhältnifs verringert werden mufs. Wenn daher die Schenkel der Seitenthal-Ausfahrung BC und EF keine grofse Länge haben, so ist der erreichbare Gewinn an Steigungshöhe nicht sehr erheblich. Um mit dem einkehrenden Schenkel nicht nach zu kurzem Abstande in den Thalweg des meistens nach oben hin rasch steiler werdenden Seitenthals einzuschneiden, mufs man im Beginn der Ausfahrung bei A noch eine beträchtliche Höhe über dem Thalboden haben.

Grofse Baukosten erfordert meistens, besonders in engen Thälern, die Umkehre, bei welcher ein genügendes Auseinanderrücken der Schenkelenden oft nur durch tiefe Einschnitte oder durch Tunnel in den Thallehnen gewonnen werden kann. Zweckmäfsig benutzt man oft, wie in Fig. 19 angegeben, eine Spaltung des Thals zur Umkehr.

Von den Schenkeln der Seitenthal-Ausfahrung liegt meistens der einkehrende Schenkel an dem unteren, der rückkehrende Schenkel an dem oberem Hange des Seitenthals. Es wird dabei die Uebersetzung des Seitenthals in hoher Lage in der Nähe seiner Ausmündung in das Hauptthal vermieden. Dieser Umstand kann bei bequem gestalteten Seitenthälern in einzelnen Fällen die Einkehr in dieselben aus Gründen der Kostenersparung empfehlenswerth machen, selbst wenn eine Längen-Entwicklung der Trafse nicht erforderlich oder gar eine Längen-Vermehrung unerwünscht ist.

In Ausnahmefällen liegen beide Schenkel der Seitenthal-Ausfahrung an dem oberen Hange des Seitenthals, so dafs die Trafse das Seitenthal zunächst an seinem unteren Ende übersetzt, ehe sie in dasselbe einkehrt. Da diese Thalübersetzung aber stets in hoher Lage erfolgen mufs, also kostspielig ist, so kann eine solche Anordnung nur dann in Frage

kommen, wenn die untere Lehne des Seitenthals für die Durchführung des einkehrenden Schenkels sehr erhebliche Schwierigkeiten bietet.

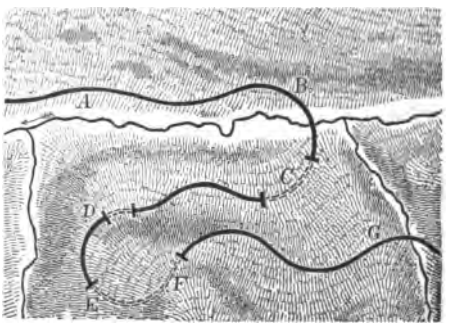
Nicht selten wird bei der Entwicklung im Seitenthale, besonders bei dem tiefer gelegenen einkehrenden Schenkel, ein Uferwechsel vorkommen.

Bei engen, nahezu parallel laufenden Seitenthälern kann der Fall eintreten, dafs der einkehrende Schenkel in dem unteren Thale und der rückkehrende Schenkel in dem oberen parallelen Seitenthale liegt, indem die Umkehre den, beide Parallelthäler trennenden Bergrücken durchbricht.

Schöne Beispiele für die Ausfahrung von Seitenthälern zeigen die Trafsen der Semmering- und der Brennerbahn.

2. Bei der Schleifenbildung folgt die Trafse dem Hauptthale bis sie in den nach oben hin allmählich steiler werdenden Thalweg beinahe einschneidet und wendet sich dann in einer Umkehre um 180°, indem sie rückwärts, in der Richtung des Thalgefälles ansteigend vom Thalboden sich wieder entfernt, endlich in der Rückkehre wieder eine Wendung von 180°, im entgegengesetzten Sinne wie bei der Umkehr, macht und in der ursprünglichen ansteigenden Richtung des Thales weiter steigt.

Fig. 20.



Innerhalb der Längenerstreckung der Schleife liegen im Querschnitt des Thales drei Strecken der Trafse übereinander, die untere Strecke *AB*, der umkehrende Schenkel *CDE* und der rückkehrende Schenkel *EFG* der Schleife. Der Gewinn an Länge ist ausgiebiger als bei der Ausfahrung eines Seitenthales, da die ganze Länge der Schleife *BCDEFG* die Längenvermehrung bildet. Die scharfen Krümmungen und die meistens erforderlichen Tunnel der Umkehre und Rückkehre beeinträchtigen allerdings durch die vorzunehmende Ermäfsigung des Steigungsverhältnifses die Gröfse der zu gewinnenden Steigungshöhe.

Günstig im Vergleich zur Ausfahrung von Seitenthälern ist ferner der Umstand, dafs bei der Schleifenbildung die Trafse im Hauptthale so weit aufwärts geführt werden kann, bis sie nahezu in den Thalweg einschneidet, während bei der Ausfahrung von Seitenthälern die Entwicklung schon beginnen mufs, wenn die Trafse noch in gröfserer Höhenlage über dem Thalwege sich befindet.

Zweckmäfsig werden, wenn die Bodengestaltung hierzu Gelegenheit bietet, sowohl für die Umkehre wie für die Rückkehre die Einmündungen von Seitenthälern benutzt, wie in Fig. 20 dargestellt ist. Man gewinnt dadurch die Möglichkeit an den Hängen der Seitenthäler die Umkehre wie die Rückkehre mindestens theilweise in offener Lage durchzuführen.

Am Anfange der Schleife erfolgt in der Regel eine Ueberschreitung des Thales in einer für die Brückenanlage noch eben ausreichenden Höhenlage.

Nur ausnahmsweise wird eine Ueberschreitung des Thales beim Beginn der Schleife vermieden und die Umkehre statt nach dem Thalwege hin nach der Hangseite zu rückwärts geführt werden können, so dafs die drei in der Schleife über-

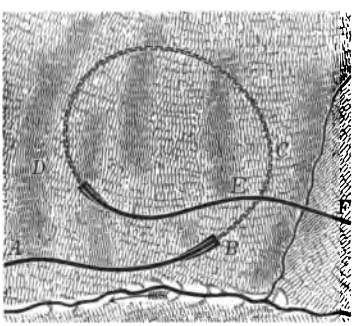
einander liegenden Strecken der Trafse an ein und demselben Flufsufer sich befinden.

Wird die Schleifenbildung in einem Längenabschnitte des Thales mehrere Male übereinander wiederholt, was bei Strafsen häufig dagegen bei Eisenbahnen nur ausnahmsweise vorkommt, so bezeichnet man die Trafse als Serpentinen-Bildung und nennt jede der um etwa 180° gewendeten Krümmungen eine Serpentine.

Schöne Beispiele von Schleifenbildungen zeigt die Schwarzwaldbahn.

3. Die Wendelsteige bildet eine Schleife, bei welcher die Krümmung der Rückkehre in demselben Sinne wie die der Umkehre erfolgt, so dafs eine volle Umdrehung im gleichen Drehungssinne vollzogen wird. Am Ende der Wendelsteige mufs dann der rückkehrende Schenkel DE (Fig. 21) über den umkehrenden Schenkel ABC hinweggeführt werden. An der Ueberschreitungsstelle der Trafse E ist für die Höhe die ganze Entwicklungslänge der Wendelsteige gewonnen. Zweckmäfsig benutzt man für den umkehrenden wie für den rückkehrenden Schenkel der Wendelsteige die Einmündung von Seitenthälern, an deren Hängen man die Trafse in offener Lage führen und unter Umständen den Tunnel auf die Durchbrechung des, beide Thäler trennenden Bergrückens einschränken kann. Unter solchen Umständen kann man die Wendelsteige als einen besonderen Fall der Ausfahrung paralleler Seitenthäler ansehen, bei welchem der einkehrende Schenkel im oberen und der rückkehrende Schenkel im unteren

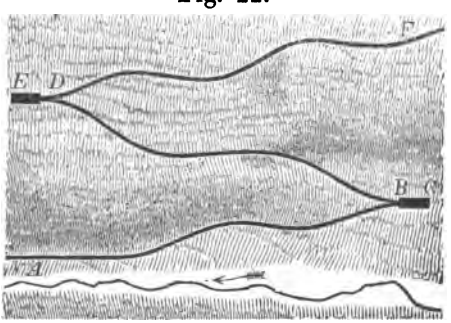
Fig. 21.



Seitenthale liegt. Die Wendelsteige kann aber auch unabhängig von Seitenthälern durchgeführt werden, indem man mittelst des Umkehrtunnels in die Berglehne eindringt und unter Fortsetzung der Drehung wieder in die Richtung des Hauptthals bis zum Ausgange in offene Lage am Thalhange weiter geht. In engen Thälern ohne benutzbare Seitenthäler und mit schroffen Lehnen ist die Längenentwicklung durch Wendelsteigen zuweilen das einzige, wenn auch kostspielige Auskunftsmittel. Sie wurden bis jetzt nur bei der Gotthardbahn angewendet, deren Trafse dadurch zu einer so eigenartigen und höchst interessanten geworden ist.

4. Bei der Längenentwicklung durch **Spitzkehren** wird die Fahrrichtung der Züge durch Einlaufen in eine Kopfstation geändert. Die Spitzkehren (Fig. 22) sind in den

Fig. 22.



Anlagekosten in der Regel billiger als jede andere Art der Längenentwicklung, wegen der Unbequemlichkeit und wegen des Zeitverlustes, welchen die Aenderung der Fahrrichtung beim Betriebe verursacht, aber nur in Nothfällen zur Anwendung gekommen. Ein Beispiel bildet die Spitzkehre bei Elm in der Ersteigung der Wasserscheide zwischen Main und Fulda in der Eisenbahn Frankfurt-Bebra; bemerkenswerther sind aber die Spitzkehren der Lima-Oroya-Bahn.

Durch die beiden Spitzkehren bei *B* und *D* (Fig. 22)

wird die Entwicklungslänge BDF in der Richtung des Thales gewonnen, welche ohne schärfere Krümmungen und meistens auch ohne lange Tunnel erreicht wird, so dafs sie zur Vermehrung der Steigungshöhe ohne Einschränkung zur Ausnutzung gelangt. Dieser Vortheil wird durch die der eigentlichen Länge der Trafse hinzukommenden Kopfstationen BC und ED erkauft, welche, wenn sie nicht auch für den Verkehr erforderlich waren, die Ausgaben für den Bau und für den Betrieb erhöhen.

§ 38.

Die Aufsuchuug der Trafse im Schichtenplane.

An die Aufsuchung der Trafse kann erst gegangen werden, nachdem über die folgenden Punkte, wenn auch nicht eine unabänderliche, so doch eine vorläufige Entscheidung getroffen worden ist:

1) über die Grundrifs- und Höhenlage des oberen Endpunkts der Steigungslinie an der Wasserscheide;
2) über den unteren Endpunkt der Steigungslinie im Thale;
3) über die Gröfse der mafsgebenden Steigung;
4) über den kleinsten zuläfsigen Krümmungshalbmesser;
5) über die geringste Länge der Zwischengeraden bei Gegenkurven;
6) über die Verringerung der mafsgebenden Steigung in Kurven, deren Länge ein gegebenes Mafs überschreitet und deren Krümmungshalbmesser unter einer bestimmten Gröfse bleibt;
7) über die Verringerung der mafsgebenden Steigung in Tunneln, deren Länge ein bestimmtes Mafs überschreitet;
8) über die Lage, die Länge und die gröfste zuläfsige Steigung der Zwischenstationen.

Mit der Aufsuchung der Trafse beginnt man in der

Regel am zweckmäfsigsten am oberen Endpunkte der Trafse, weil dessen Lage meistens schärfer bestimmt ist als der untere Fufspunkt der Steigungslinie.

Reicht die Länge des Thalzuges zur Gewinnung der Höhe mit dem angenommenen Steigungsverhältnifs nicht aus, so untersucht man, an welchen Stellen und nach welcher Art der Entwicklung die erforderliche Mehrlänge zu gewinnen ist. Sodann ist nach den in § 33 angeführten Erwägungen die Wahl des Flufsufers zu bestimmen, an welchem die Trafse abwärts geführt werden soll. Je nach der Wahl des Ufers, der Uebergangsstellen von einem Ufer auf das andere, der Stellen und der Art der Längenentwicklung kann oft eine gröfsere Anzahl verschiedener Steigungslinien zur Vergleichung kommen.

Zur Aufsuchung der Trafse nimmt man ein Längenmafs $\frac{h}{s}$ in den Zirkel, wenn h der Abstand der Schichtenkurven und s das Steigungsverhältnifs ist und geht mit diesem Längenabstande von Schichtenkurve zu Schichtenkurve allmählich abwärts. Wo die Schichtenkurven stark gekrümmt sind, mifst man in solcher Weise die Sehne des demnächst erforderlichen Kreisbogens, wodurch von vornherein in annähernder Weise der in den Kurven vorzunehmenden Ermäfsigung der Steigung Rechnung getragen wird. Kann man bei Ueberschreitung eines Thales oder einer Schlucht die zunächst unterhalb liegende Schichtenkurve des gegenüber liegenden Thalhanges mit einem Zirkelschlage nicht erreichen, so geht man mit zwei oder mehr Zirkelschlägen um zwei oder mehr Schichtenkurven abwärts.

Die nach diesem Verfahren ermittelte vorläufige Trafse bildet einen geradlinig geknickten Linienzug, dessen Brechpunkte in den Schichtenkurven liegen. Diesem sucht man

und zieht dann, der Linie DE mit dem Bleistift folgend, die Tangente an das Kreisbogenende.

Ist die aus Kreisbogen und Geraden gebildete Trafse auf dem Schichtenplane aufgezeichnet, so nimmt man eine Theilung derselben nach Höhen-Abstufungen von je ein oder zwei Metern vor. Läge der obere Endpunkt der mit einer mafsgebenden Steigung von 0,0125 zu trafsirenden Linie beispielsweise auf der Höhe 500 m, so würde man, dem Mafsstabe des Schichtenplanes entsprechend, eine Länge von 80 m in den Zirkel nehmen und abwärts gehend die Höhen 499, 498 u. s. w. in der Trafse bezeichnen. Kommt man bei dieser Theilung an dem Anfangspunkt einer Kurve von 300 m Halbmesser, in welcher eine Ermäfsigung der Steigung auf $0{,}0125 - 0{,}0033 = 0{,}0092$ eintreten mufs, so ist ein Längenmafs $\frac{1}{0{,}0092} = 108{,}7$ m in den Zirkel zu nehmen und mit diesem in der Kurve die Theilung fortzusetzen. Träfe man mit dem Gefällwechsel auf die Höhenlage 496,4, so müfste man von der Höhenzahl 495 bis zur Höhenzahl 494 die Länge $0{,}6 \cdot 80 + 0{,}4 \cdot 108{,}7 = 91{,}5$ m abstecken.

Nach Durchführung der Höhenbezeichnung der Trafse in Abstufungen von einem Meter, bestimmt man an jedem Theilpunkte, rechtwinklig gegen die Trafse gehend, den Punkt des Bodens von gleicher Höhenlage. Die Linie, welche die so erhaltenen Punkte des Bodens, von oben nach unten fortlaufend, verbindet, heifst die Null-Linie; sie liegt in den Dammstrecken der Trafse von dieser bergwärts, in den Einschnittsstrecken thalwärts.

Hebt man die zwischen der Trafse und der Nulllinie eingeschlossene Fläche durch leichte Strichelung mit weichem Blei hervor, so lernt man nach einiger Uebung bald beurtheilen, ob eine annähernde Ausgleichung der Auftrags- und

Abtragsmassen stattfindet und ob man durch Verschiebung der Trafse diese Ausgleichung besser erreicht.

Da, wo die Trafse tiefe Thäler übersetzt oder im Tunnel liegt, hat die Einzeichnung der Nulllinie keinen Zweck.

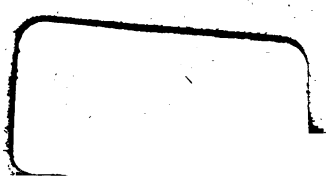
Nach der, durch die Rücksicht auf die Lage der Nulllinie bewirkten Verschiebung der Trafse wird dann eine Längentheilung derselben nach Stationen in 100 m Abstand vorgenommen, wobei eine kleine Verschiebung der Gefällwechsel, durch welche deren Abstand mindestens nach 10 Meter abgerundet wird, sich empfiehlt.

Es ist nun leicht, nach den an der Trafse eingeschriebenen Längen- und Höhenzahlen und nach den Höhen-Kurven des Schichtenplans einen Längenschnitt der Bahn aufzutragen, wozu man zweckmäfsig ein in Quadrat-Millimeter getheiltes Papier benutzt. Die darauf folgende überschlägliche Berechnung der Auf- und Abtragsmassen wird häufig noch Veranlassung werden, die Trafse in einzelnen Strecken zu besserer Ausgleichung der Auf- und Abträge mehr thalwärts oder bergwärts zu rücken; womit die allgemeinen Vorarbeiten zur Feststellung der Trafse schliefsen. Bei den ausführlichen Vorarbeiten werden zu genauerer Ermittelung der günstigsten Grundrifs- und Höhenlage vor Allen die in genügend nahem Abstande, zuweilen in einer mittleren Entfernung von wenig über 10 m, aufzunehmenden Bodenquerschnitte benutzt.

In manchen Fällen empfiehlt es sich, um eine unnütze Ausdehnung des Schichtenplans zu vermeiden, die erste geradlinig gebrochene Neigungslinie mit dem Neigungsmesser im Gelände zu suchen, dieser Zickzacklinie einen auf längere Strecken geradlinigen Polygonzug anzupassen und von diesem aus der Aufnahme des Schichtenplans auf die nächste Umgebung zu beschränken. Die übrigen nach einander folgenden Arbeiten der allgemeinen Trafsirung, also die Bildung der

Trafse aus Kreisbögen und geraden Linien, die Höhentheilung derselben, die Bestimmung der Nulllinie, die genauere Anschmiegung der Trafse an die Nulllinie, die Längeneintheilung der Trafse, die Auftragung des Längenschnitts können erst unter Benutzung eines vorliegenden Schichtenplans in zweckmäfsiger Weise durchgeführt werden, so dafs die von einigen Seiten empfohlene Verwendung des Neigungsmessers immerhin die Aufnahme eines Schichtenplans nicht entbehrlich macht, sondern nur eine unnütze Flächen-Ausdehnung desselben verhindern kann. Kommen aber, wie es bei verwickelter Bodengestaltung meistens der Fall ist, mehrere Versuchslinien zur Wahl, so ist eine grofse Ausdehnung des Schichtenplans doch unvermeidlich und die Benutzung des Neigungsmessers ohne besonderen Vortheil.

Diese Erwägungen, ja eigentlich schon die ganze hier besprochene Aufsuchung der Trafse im Schichtenplane, greifen schon in das Gebiet der praktischen Trafsirung über.

JMC SY704090000P0595

3 2044 074 113 259